

Evaluation der Bildmorphologie des kraniozervikalen Überganges
im Hochfeld-MRT im Zusammenhang mit der Diagnose
Schleudertrauma

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät

der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Wolfram Weschenfelder

geboren am 27.12.1982 in Neuhaus am Rennweg

Gutachter

1. Prof. Dr. med. Thomas E. Mayer, Jena
2. Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Gunther O. Hofmann, Jena
3. PD Dr. med. Joachim Böttcher, Gera

Tag der öffentlichen Verteidigung:

07.01.2013

Abkürzungsverzeichnis

FoV	Field of view
HWS	Halswirbelsäule
KG	Kontrollgruppe
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
M.	Musculus
MRT	Magnetresonanztomografie
NPAD	Neck pain and disability scale
PG	Patientengruppe
SPACE	Sampling Perfection with Application optimized Contrasts using different flip-angle Evolution
TE	echo time
TR	repetition time
TSE	Turbo-Spin-Echo
WAD	Whiplash associated disorders

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung	3
2.1	Der Begriff des Schleudertraumas	3
2.2	Der Verletzungsmechanismus	4
2.3	Symptome und Klassifikation des Schleudertraumas	6
2.4	Pathophysiologische Erklärungsversuche des Schleudertraumas	8
2.4.1	Neurootologischer Ansatz	8
2.4.2	Soziokultureller und psychologischer Ansatz	8
2.4.3	Schädigungen der ligamentären und ossären Strukturen	10
2.5	Befunderhebung von ligamentären und ossären Läsionen	12
2.6	Darstellung des kraniozervikalen Überganges mittels MRT	15
3	Ziele der Arbeit	21
4	Kollektiv und Methoden	23
4.1	Kollektiv	23
4.2	Methoden	28
4.2.1	Studiendesign	28
4.2.2	Fragebögen der Patientengruppe	28
4.2.3	MRT-Aufnahmen im 3-Tesla-MRT	29
4.2.4	Auswertung der Aufnahmen durch zwei unabhängige Observer	30
5	Ergebnisse	34
5.1	Auswertung der MRT-Daten beider Gruppen	35
5.1.1	Detektierbarkeit	35
5.1.2	Signalintensität	37
5.1.3	Homogenität	39
5.1.4	Form	41
5.1.5	Orientierung	43
5.1.6	Symmetrie	45

5.2	Fragebögen innerhalb der Patientengruppe	47
5.2.1	NPAD	47
5.2.2	Symptome nach Schleudertrauma	49
6	Diskussion	52
6.1	Inhaltliche Diskussion	52
6.1.1	Stichprobe	52
6.1.2	Hypothese 1	53
6.1.3	Hypothese 2	53
6.1.4	Hypothese 3	57
6.1.5	Hypothese 4	57
6.2	Methodische Diskussion	59
7	Schlussfolgerung	60
8	Literatur- und Quellenverzeichnis	61
9	Anhang	68
9.1	Tabellenverzeichnis	68
9.2	Abbildungsverzeichnis	69
9.3	Einverständniserklärung	70
9.4.	Fragebögen	71
9.5	Tabellarischer Lebenslauf	72
9.6	Ehrenwörtliche Erklärung	73
9.7	Danksagung	74

1 Zusammenfassung

Der Großteil der sich täglich ereignenden Verkehrsunfälle spielt sich im Niedrig-Rasanz-Bereich ab. Die Unfallopfer, die zunächst häufig nur unter geringen oder gar keinen Beschwerden leiden, zeigen aber zum Teil im Verlauf eine Reihe von chronischen Symptomen für deren Entstehung ein sogenanntes Schleudertrauma als ursächlich erachtet wird.

Obwohl sich zahlreiche Forschungsgruppen mit dem Terminus Schleudertrauma beschäftigen, konnte bislang kein zufriedenstellendes somatisches Korrelat der geschilderten Beschwerden gefunden werden. Es wurde eine Vielzahl von Erklärungsversuchen postuliert. Die mögliche Schädigung der Ligg. alaria des kraniozervikalen Überganges ist zuletzt sehr kontrovers diskutiert worden und soll in dieser Arbeit mithilfe einer Hochfeld-MRT mit einer Stärke von 3 Tesla überprüft werden.

Die Studie umfasst insgesamt 89 Personen, von denen 50 keine Anamnese für Verletzungen der Halswirbelsäule aufwiesen (Kontrollgruppe) und die anderen 39 einen Verkehrsunfall mit einem in der Klinik für Unfall- Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums Jena diagnostizierten Schleudertrauma erlitten hatten (Patientengruppe).

Bei beiden Gruppen wurde eine MRT der Halswirbelsäule mit einer T2-gewichteten TSE SPACE-Sequenz durchgeführt, und es wurden anschließend die Aufnahmen von zwei Neuroradiologen unabhängig voneinander befundet. Die Auswertung erfolgte anhand von uns definierter Items, welche die Detektierbarkeit, die Signalintensität, die Homogenität, die Form, die Ausrichtung und die Orientierung der Ligg. alaria sowie die Symmetrie des kraniozervikalen Überganges beschrieben. Der Zeitpunkt der MRT-Untersuchung lag bei den Patienten mindestens sechs Monate nach dem Schleudertrauma. Innerhalb der Patientengruppe wurden vor der Untersuchung die aktuellen Beschwerden anhand des Neck Pain and Disability Scale (NPAD) und der Kollisionstyp erfasst. Zudem wurden die Patienten am Untersuchungstag retrospektiv zu den Symptomen ihres erlittenen Schleudertraumas am Tag des Unfalles, eine Woche nach dem Ereignis und nach 6 Monaten befragt. Beide Gruppen unterschieden sich nicht bzgl. ihres Alters und ihres Geschlechtes.

Im Rahmen der Studie konnten die Ligg. alaria mit der genutzten T2-gewichteten TSE SPACE-Sequenz und einer Magnetfeldstärke von 3 Tesla bei allen Probanden sicher identifiziert werden. Die Kappa-Koeffizienten ergaben in allen Fällen eine hohe Interrater-Reliabilität (Kappa-Koeffizienten zwischen 0,74 und 0,89).

Die Auswertung der MRT-Aufnahmen von Kontroll- und Patientengruppe zeigte erneut die in anderen Arbeiten beschriebene große Varianz des kraniozervikalen Überganges. Die beiden Kollektive unterschieden sich nicht bzgl. Homogenität, Form oder Orientierung der Flügelbänder. Es ließen sich jedoch signifikante Unterschiede der Signalintensität und Symmetrie der Ligg. alaria beider Gruppen nachweisen, die sich aber anders als erwartet darstellten. Es fanden sich in der Patientengruppe signifikant häufiger hypointense Bänder (rechtes Lig. alare: $p < 0,05$) sowie ein als symmetrisch eingestufte kraniozervikaler Übergang ($p < 0,01$). Diese Ergebnisse lassen sich pathophysiologisch nur schwer erklären und stehen im Gegensatz zu den Resultaten anderer Studien. Sie stellen keinen Beweis möglicher Bandschädigungen aufgrund des Schleudertraumas dar, sondern sind am ehesten als Ausdruck der großen Varianz der Bandkonfigurationen beim Gesunden zu werten.

Die von den Patienten angegebenen aktuellen Beschwerden entsprechend des NPAD lagen im Mittel bei 21, was einer moderaten Beeinträchtigung entspricht. Es ergaben sich bei der statistischen Auswertung keine signifikanten Korrelationen mit den MR-tomografischen Auffälligkeiten. Die retrospektive Analyse des Verlaufes der Beschwerden zeigte eine Verringerung der Zahl der Symptome nach sechs Monaten ($p < 0,01$), wobei sich aber schwer objektivierbare Einschränkungen, wie Müdigkeit, Schwindel und Gedächtnisstörungen, nicht verringerten. Dies kann als Ausdruck der soziokulturellen und psychischen Komponente der Traumaverarbeitung gedeutet werden.

Das Schleudertrauma und seine Folgen stellen ein multifaktorielles Geschehen dar, bei dem nicht nur eine mögliche somatische Schädigung, sondern auch deren Verarbeitung besonders im Hinblick auf den psychologischen und soziokulturellen Hintergrund des Patienten eine Rolle spielen. Diesen verschiedenen Einflüssen muss der Arzt in seiner Diagnosestellung und insbesondere weiteren Behandlung Rechnung tragen. Im Rahmen dieser Studie konnten keine Beweise für eine Schädigung der Ligg. alaria durch ein Schleudertrauma in der MRT gefunden werden. Die MRT-Bildgebung der HWS sollte nach einem Unfall dementsprechend speziellen Fragestellungen vorbehalten bleiben.

2 Einleitung

In Deutschland ereignen sich täglich Hunderte von Verkehrsunfällen mit Personenschaden. Die Unfallstatistik des Jahres 2010 gibt eine Zahl von 288.287 Unfällen mit insgesamt 371.140 Verletzten an (Deutscher Verkehrssicherheitsrat 2011).

Bei einem Großteil der Unfälle handelt es sich um Zusammenstöße im Niedrig-Rasanz-Bereich und entsprechend gering sind auch häufig die initialen Beschwerden der Patienten. 55% aller Unfallopfer berichten anfangs lediglich über eine Nackensteifigkeit. Im Langzeitverlauf zeigt sich jedoch, dass nach zweieinhalb Jahren reine Halswirbelsäulenbeschwerden trotz ihrer anfangs scheinbaren Harmlosigkeit für 82% aller Langzeitkrankschreibungen verantwortlich sind (Bylund und Björnstig 1998). Bei Betrachtung des Unfallmechanismus ist zudem auffällig, dass die reine Heckkollision mit 39% den häufigsten Unfalltyp ausmacht, unter den Langzeitgeschädigten jedoch mit 66% noch weitaus deutlicher dominiert (Bylund und Björnstig 1998).

Diese Diskrepanz aus anfangs geringen Symptomen aber offensichtlich sehr langanhaltenden Einschränkungen begründet die hohe sozialmedizinische und versicherungsrechtliche Relevanz reiner Halswirbelsäulenbeschwerden. So beruhen 90% aller Forderungen nach Personenschäden bei den Kfz-Haftpflichtversicherungen auf reinen HWS-Verletzungen (Castro et al. 1998). Die Folgekosten der Behandlung dieser Schäden betrugen im Jahre 2002 in den USA mindestens 13 Milliarden US-Dollar (Malleson 2002).

2.1 Der Begriff des Schleudertraumas

Für die oben beschriebenen Beschwerden im Bereich der Region der Halswirbelsäule nach Verkehrsunfällen wurde erstmals durch Crowe 1928 der Begriff des „whiplash injury“ geprägt (Crowe 1964), der in den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts dann unter dem Namen „Schleudertrauma“ Einzug in die deutsche Medizin fand.

In seiner Übersichtsarbeit aus dem Jahre 2010 hat Schröter die Entwicklung des Begriffes aus der sogenannten „railway spine“ dargelegt (Schröter 2010). So war es im 19. Jahrhundert mit dem Aufkommen der Eisenbahn auch vermehrt zu Unfällen und

entsprechenden Verletzungen gekommen. Die damals mit den Patienten konfrontierten Ärzte konnten keine den subjektiven Beschwerden der Patienten entsprechenden klinischen Befunde erheben und so entstand der Begriff der „railway spine“. Im Verlauf wurde diese Diagnose auch zunehmend auf Beteiligte leichter Zugunglücke übertragen. Als dann im beginnenden 20. Jahrhundert auch zunehmend Automobile zum Einsatz kamen, wurde auch hier ein ähnliches Beschwerdebild mit einer deutlichen Diskrepanz von subjektiven Angaben und objektiven Befunden beobachtet und schließlich durch Crowe erstmals als „whiplash injury“ bezeichnet (Thomann und Rauschmann 2001, Thomann und Rauschmann 2003).

Die erste Falldokumentation mit einem Patientenkollektiv von 50 Personen wurde im Jahre 1953 von Gay und Abbott veröffentlicht und es wurden fünf übereinstimmende Charakteristika der Patienten hervorgehoben (Gay und Abbott 1953).

- Auffahrunfälle mit stets gleichem Unfallmechanismus
- Fehlende äußere Verletzungszeichen in der Kopf-/Halsregion
- Fehlende objektivierbare radiologische Verletzungsmerkmale der HWS
- Zeitliche Ausweitung der Beschwerden über das gewohnte Maß einer Distorsion hinaus
- Abnorme seelische Verarbeitung, die durch psychotherapeutische Führung positiv beeinflussbar oder ganz vermeidbar war

2.2 Der Verletzungsmechanismus

Es handelt sich typischerweise um eine plötzliche, passive Beschleunigungskraft (besonders häufig als Heckaufprall) die dann eine Translations- oder Retroflexionsbewegung der Halswirbelsäule auslöst. Sofern der wirkende Kraftvektor aus einer anderen Richtung kommt oder auf eine rotierte HWS trifft, ergeben sich noch Rotations- und Torsionskräfte um die Körperlängsachse, was das Verletzungsbild verstärken kann (Castro et al. 1997, Kaale et al. 2005, Lang et al. 2008).

Es lässt sich eine große Zahl von Studien finden, die den genauen Mechanismus des Schleudertraumas beschreiben (Panjabi et al. 1998, Poeck 2002, Bitterling et al. 2007, Chen et al. 2009). Während des Unfalles kommt es nach einer kurzen Latenz zu

mehreren passiven Bewegungen des Kopfes und der Wirbelsäule, die sich in Phasen einteilen lassen.

Anfangs verringert sich die Lordose der Halswirbelsäule, was mit einer leichten Anteflexion einhergeht (Chen et al. 2009). Anschließend kommt es dann aufgrund einer zunehmenden Extension im Bereich der unteren Halswirbelsäule zu einer S-förmigen Verbiegung, die sich langsam nach kranial fortsetzt und schließlich in einer vollständigen Extension des Nackens endet, der sogenannten Hyperextension. Hierbei treten die stärksten Kräfte und Biegemomente im Bereich der unteren Halswirbelsäule auf (Panjabi et al. 1998, Chen et al. 2009). In der letzten Phase kommt es dann zu einer Translationsbewegung des Körpers und Kopfes nach vorn, wobei der Rumpf durch den Sicherheitsgurt gebremst und dadurch die Halswirbelsäule flektiert wird (Poeck 2002, Bitterling et al. 2007).

Die Kräfte wirken vornehmlich auf die Muskulatur der unteren HWS sowie den Kapselbandapparat der Wirbelsäule und deren Gelenke.

Ein besonders in der Begutachtung von Patienten wichtiger Aspekt ist, dass sich Vorschädigungen der HWS (Bandscheiben-Protrusionen, Instabilitäten, Morbus Bechterew) durch ein Schleudertrauma deutlich verstärken können (Hinz 1970).

2.3 Symptome und Klassifikation des Schleudertraumas

Bereits in den ursprünglichen Ausführungen von Crowe sowie Gay und Abbott wurden typische Symptome des Schleudertraumas genannt. Im Jahre 1972 wurden durch Hinz und Plaue 64.000 Unfalldaten aus den USA ausgewertet, in denen sich zeigte, dass gerade leicht verletzte Patienten häufig initial ein symptomfreies Intervall und nur minimale Verletzungen am Weichteilmantel aufwiesen. Die restlichen 10% der Patienten, die tatsächliche fassbare klinische Korrelate aufwiesen, gaben direkt nach dem Unfall starke Schmerzen und Bewegungseinschränkungen an (Hinz und Plaue 1972).

Im Jahre 1996 beschrieben Ronnen et al. typische Beschwerden der von ihnen drei Wochen nach Trauma untersuchten Patienten (Ronnen et al. 1996).

- Gefühl der Steifheit im Genick
- Kopfschmerzen
- Occipitaler Kopfschmerz
- Einschränkung bei Rotationsbewegungen des Kopfes
- Einschränkung bei Extension/Flexion
- Konzentrationsstörungen
- Parästhesien der Arme und Hände
- Hörstörungen
- Schwindel
- Müdigkeit
- Störungen des Kurzzeitgedächtnisses
- Persönlichkeitsveränderungen
- Wortfindungsstörungen
- Neurologische Defizite
- Radikulärsymptomatik

Die typischen Beschwerden wurden im Jahre 1995 durch die Quebec Task Force unter dem Begriff der „whiplash associated disorders“ (WAD) zusammengefasst und in einer entsprechenden Klassifikation festgehalten (Spitzer et al. 1995). (vgl. Tabelle 1)

Tabelle 1 - Whiplash associated disorders – vgl. Spitzer et al. 1995

Grad der WAD	Klinisches Bild
0	Keine Beschwerden, Untersuchung ohne Auffälligkeiten
1	Beschwerden wie Nackenschmerzen oder Nackensteife, Schmerzempfindungen
2	Grad 1 + objektive muskuloskelettale Befunde (z. B. Bewegungseinschränkungen, Druckschmerzempfindlichkeit, Blockaden)
3	Grad 2 + objektive neurologische Befunde (z. B. Verminderung der Nervenleitgeschwindigkeit, sensible und motorische Ausfälle)
4	Grad 3 + Frakturen, Dislokationen (Verschiebungen, Rückenmarkschädigungen)

In der Literatur gibt es zahlreiche Studien bzgl. der notwendigen Geschwindigkeiten, um ein Schleudertrauma auszulösen. Brault et al. konnten 1998 zeigen, dass bereits Aufprallgeschwindigkeiten von 4-8 km/h ausreichen, um die Symptome eines Schleudertraumas auszulösen (Brault et al. 1998). In entsprechenden Untersuchungen konnten auch bei Geschwindigkeiten von 10-15 km/h keine pathologischen Korrelate in der klinischen Untersuchung, Bewegungsanalyse oder Bildgebung gefunden werden (Castro et al. 1997). Umso verwirrender sind andere Ergebnisse, die zeigen, dass selbst nach Hoch-Rasanz-Traumen mit 70 km/h kein Schleudertrauma auftritt (Malleon 2002).

Es konnten zudem Unterschiede der Ausprägung eines Schleudertraumas zwischen den Geschlechtern nachgewiesen werden. So hatten in der Untersuchung von Brault et al. Frauen länger Beschwerden nach einem Trauma als Männer (Brault et al. 1998). Centeno et al. konnten 2007 an Leichenpräparaten zeigen, dass der weibliche Bandapparat stärker auf die Bänderdehnung reagiert und damit je nach einwirkendem Kraftvektor stärkere Instabilitäten der Halswirbelsäule entstehen können (Centeno et al. 2007).

Insgesamt lässt sich festhalten, dass sich trotz hoher Chronifizierungsrate des Schleudertraumas selten wirklich objektivierbare Verletzungen zeigen lassen (McClune et al. 2002, Schröter 2010).

2.4 Pathophysiologische Erklärungsversuche des Schleudertraumas

Bereits die von Gay und Abbott beschriebenen typischen Charakteristika des Schleudertraumas kennzeichnen das Dilemma der fehlenden objektivierbaren Befunde für die subjektiv vom Patienten erlebten Beschwerden (Gay und Abbott 1953).

Im Verlauf der Zeit wurden verschiedene Erklärungsmodelle postuliert und in einer Übersichtsarbeit von Schröter dargestellt (Schröter 2010). Die relevanten Theorien sollen im Folgenden kurz genannt werden:

2.4.1 Neurootologischer Ansatz

Die Anatomen Neuhuber und Bankoul konnten in ihren Arbeiten von 1994 und 1998 durch intensive Studien zur Innervation der Haut- und Muskelafferenzen sowie propriozeptiven Fasern im Bereich des kraniozervikalen Überganges zeigen, dass diese direkten Zugang zu vestibulospinalen und vestibulookulomotorischen Neuronen haben (Neuhuber und Bankoul 1994, Neuhuber und Bankoul 1998). Hieraus entwickelte sich im Verlauf die Annahme, diese Verrechnungsstörungen in den Kerngebieten könnten zu dysfunktionellen Störungen führen. Hülse und Hölzl zeigten 2000, dass entsprechende funktionelle Störungen im Bereich des Kopf-Hals-Überganges nur zu leichten koordinativen Einschränkungen im Sinne einer zervikogenen Unsicherheit führten, aber nicht geeignet sind, Schwindel zu bewirken (Hülse und Hölzl 2000).

2.4.2 Soziokultureller und psychologischer Ansatz

Es wird bereits länger beobachtet, dass bzgl. der Epidemiologie des Schleudertraumas deutliche interkulturelle Unterschiede bestehen (Ferrari et al. 2001; Ferrari und Lang 2005).

So konnte gezeigt werden, dass in Litauen wegen fehlenden Wissens um das Schleudertrauma keine typischen Symptome eines Schleudertraumas nach adäquatem Trauma auftreten (Obelieniene et al. 1999).

Castro et al. führten 2001 eine Studie durch, in der Freiwillige einem Placebo-Verkehrsunfall ausgesetzt waren, der von so geringer Energie war, dass keine strukturellen Schäden zu erwarten waren. Dennoch beklagten 20% der Probanden im Anschluss typische Symptome eines Schleudertraumas (Castro et al. 2001).

Eine große Untersuchung von Buitenhuis et al. konnte zeigen, dass überzogene Angsterwartungen und der Wunsch, den Beschwerden eine physische Ursache zuordnen zu können, mit der Schwere korrelieren. Der sozio-kulturelle Begriff des Schleudertraumas und eine entsprechende Erwartungshaltung haben also Einfluss auf das Krankheitserleben (Buitenhuis et al. 2008).

In Anbetracht dieser Tatsachen sollte im Patientengespräch stets die prinzipiell gute Prognose und nur selten schwere Verletzung betont werden. Dem Patienten muss eine schnelle Rückkehr in seine normale Tätigkeit ermöglicht und eine positive Grundeinstellung unterstützt werden (McClune et al. 2002).

In seiner Arbeit zur neurologischen Begutachtung von Schleudertraumapatienten aus dem Jahr 2002 kam auch Poeck zu dem Schluss, dass soziokulturelle Ursachen eine wichtige Rolle für die Entstehung der typischen Beschwerden nach einem Schleudertrauma spielen (Poeck 2002). Er schlussfolgerte aus dem Vergleich der vorhandenen Literatur, dass sich weder durch neurologische, manualtherapeutische oder bildgebende Verfahren eine somatische Ursache der geschilderten Symptome finden lässt. Als mögliche weitere Erklärung für deren Entstehung nannte er die Überdiagnostik und Übertherapie durch behandelnde Ärzte sowie den sekundären Krankheitsgewinn der Betroffenen (Poeck 2002).

2.4.3 Schädigungen der ligamentären und ossären Strukturen

Mit dem Aufkommen der ersten Hochgeschwindigkeitskameras vor etwa 40 Jahren konnte der Verletzungsmechanismus bei Beschleunigungsverletzungen der Halswirbelsäule erstmals genauer untersucht werden. Aufgrund des postulierten Hyperextensionsmechanismus wurde eine Schädigung ligamentärer Strukturen im kraniozervikalen Übergang als Ursache für persistierende Beschwerden nach Schleudertraumen angenommen.

Erste Untersuchungen aus dieser Zeit stammen von Hinz, der 1970 an gesunden Leichenpräparaten auch bei hohen Beschleunigungs- und Entschleunigungsimpulsen keine Schäden der Bandstrukturen nachweisen konnte (Hinz 1970). Bereits bestehende degenerative Veränderungen verstärkten sich jedoch durch die Krafteinwirkung deutlich. So wurden Bandscheibenprotrusionen in vielen Fällen durch das Trauma zu einem Prolaps.

In der Folgezeit wurden zunehmend separate Studien für die unterschiedlichen Gelenkanteile im kraniozervikalen Übergang durchgeführt. In ihrer Arbeit aus dem Jahre 2007 fassten Bitterling et al. die bisherigen Versuche an Leichenpräparaten bzgl. der Verletzungen der Ligg. alaria zusammen (Bitterling et al. 2007).

Sowohl Saturnus und Thrun als auch Obernauer et al. konnten zeigen, dass bei entsprechend hoher Gewalteinwirkung eine Verletzung der Flügelbänder möglich ist. Allerdings lag bei beiden Studien nicht der typische Verletzungsmechanismus eines Schleudertraumas vor (Saternus und Thrun 1987, Obernauer et al. 1999).

Am Dummy konnte von Hartwig et al. im ComputermodeLL nachgewiesen werden, dass die entstehenden Kräfte bei Niedrig-Rasanz-Unfällen eher Veränderungen im Bereich der unteren Halswirbelsäule nicht aber den Ligg. alaria auslösen (Hartwig et al. 2004).

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Maak et al., die Leichenpräparate entsprechenden Bewegungsimpulsen mit achtfacher Erdbeschleunigung aussetzten und keine Bandschäden nachweisen konnten (Maak et al. 2006).

Auch Bitterling et al. schlussfolgerten in ihrer Übersichtsarbeit, dass die derzeitigen Untersuchungen an Leichenpräparaten eher gegen eine Beteiligung der Ligg. alaria sprechen (Bitterling et al. 2007).

Zu einem anderen Ergebnis kamen Tominaga et al., die Leichenpräparate einer dem Schleudertrauma ähnelnden Gewalt aussetzten. Anschließend zeigte sich, dass deren Ligg. alaria im Vergleich mit einer Kontrollgruppe bereits bei geringeren Kräften reißen und somit eine Schädigung vorliegen muss (Tominaga et al. 2006).

Einige Forschungsgruppen haben sich auch den anderen Strukturen im kraniozervikalen Übergang gewidmet und besonders die Entstehung einer Instabilität der Halswirbelsäule untersucht.

Stemper et al. zeigten 2006 am ComputermodeLL, dass es im Rahmen eines Schleudertraumas zu Verletzungen des Lig. longitudinale anterius mit daraus resultierender Instabilität kommen kann (Stemper et al. 2006).

Veränderungen im Bereich der Gelenkkapsel der Facettengelenke und eine daraus folgende erhöhte Bandlaxität konnten sowohl von Quinn et al. als auch von Ivancic et al. an Leichenpräparaten, die entsprechenden Beschleunigungen ausgesetzt worden waren, nachgewiesen werden (Quinn et al. 2007, Ivancic et al. 2008). Hierbei wurden durch Quinn et al. die Gelenke mikroskopisch untersucht und sie fanden hierbei eine fehlorganisierte Kollagensynthese in den beteiligten Kapselabschnitten. Sie postulierten daraufhin, dass es aufgrund der veränderten funktionellen Strukturen zu den für das Schleudertrauma typischen persistierenden Schmerzen kommen könne.

2.5 Befunderhebung von ligamentären und ossären Läsionen

Im vorhergehenden Abschnitt sind zahlreiche Studien über mögliche Verletzung des Kapselbandapparates im Halswirbelsäulenbereich infolge eines Schleudertraumas genannt worden, die allesamt am Computermodell oder Leichenpräparaten durchgeführt wurden.

Die in-vivo Befunderhebung beginnt mit der Anamnese und klinischen Untersuchung des Patienten, wobei gerade direkt nach dem Unfall gezielt und genau nach dem Unfallhergang gefragt und dieser dokumentiert werden sollte. Auch müssen vorbestehende Erkrankungen der Halswirbelsäule genau erfragt werden.

Eine körperliche Untersuchung ist nicht nur direkt nach dem Unfall, sondern auch bei der Feststellung von Langzeitschädigungen sinnvoll. So konnten Kaale et al. zeigen, dass nach Schleudertrauma mittels Goniometer etwas geringere aktive Bewegungsausmaße in der Halswirbelsäule gemessen werden als bei Gesunden (Kaale et al. 2007).

Auch eine genaue neurologische Untersuchung ist nötig, um mögliche schwere Verletzungen auszuschließen und den Schweregrad der Verletzung adäquat klassifizieren zu können (Spitzer et al. 1995, Lang et al. 2008).

Einige Autoren empfehlen auch eine Untersuchung durch einen Manualtherapeuten. Kaale et al. konnten 2007 zeigen, dass Befunde einer Hypermobilität der HWS nach Schleudertrauma mit Bandauffälligkeiten in der MRT korrelieren (Kaale et al. 2007). Allerdings sind diese manualtherapeutischen Befunde nur schwer reproduzierbar und häufig nicht reliabel (Fritzsche 1997).

Es gibt eine Vielzahl an Richtlinien, die gerade bei der großen Patientengruppe der Niedrig-Rasanz-Unfälle Empfehlungen zur initialen radiologischen Diagnostik geben. Im klinischen Alltag wird häufig die Canadian C-Spine Rule für wache und stabile Patienten nach Verkehrsunfall angewandt, die entsprechend bestimmter Risikofaktoren, des Unfallherganges und der klinischen Symptome die Durchführung einer Bildgebung empfiehlt (Stiell et al. 2001). (vgl. Abbildung 1)

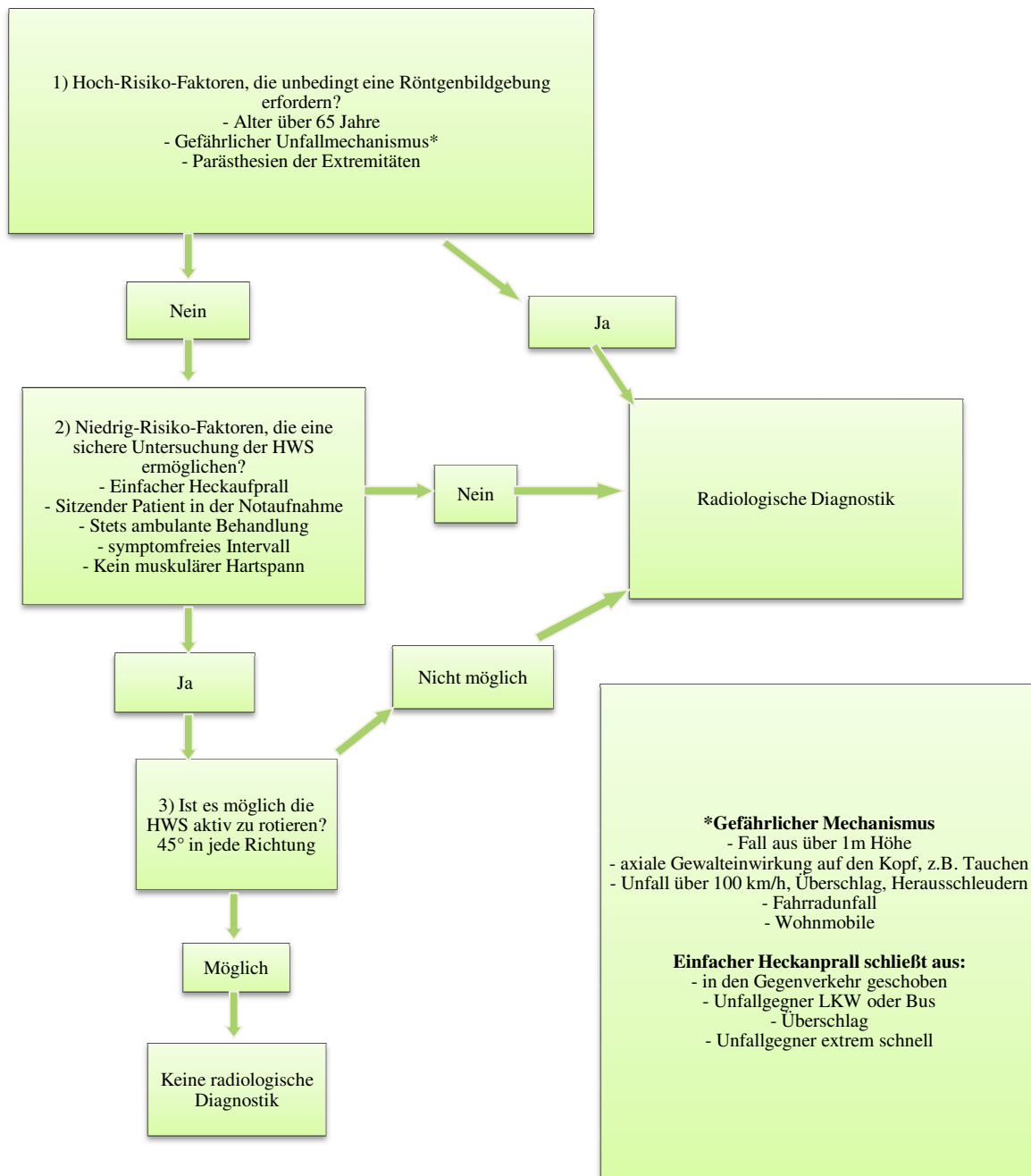


Abbildung 1 - Canadian C-Spine Rule – Vgl. Stiell et al. 2001

Muhle et al. hatten 2002 das konventionelle Röntgen, die Computertomografie und die Magnetresonanztomografie in Bezug auf die Darstellung möglicher Verletzung bei einem Schleudertrauma verglichen (Muhle et al. 2002).

Mit dem konventionellen Röntgen der Halswirbelsäule in 2 Ebenen, ggfs. ergänzt durch eine Denszielaufnahme, lassen sich Aussagen über die Densposition, dislozierte Frakturen, das Alignment und die Stellung der Halswirbelsäule treffen.

Häufig wird im Zusammenhang mit einem Schleudertrauma die Steilstellung der Halswirbelsäule als pathognomonisches Indiz im Röntgen bezeichnet. Helliwell et al. konnten bereits 1994 nachweisen, dass 40% der gesunden Normalbevölkerung eine solche Steilstellung aufweisen, diese aber nur bei 26% der chronischen Rückenschmerzpatienten vorkommt und gerade Unfallopfer nur zu 19% einen entsprechenden Röntgenbefund haben (Helliwell et al. 1994).

Eine asymmetrische Densposition wird oft als indirekter Hinweis auf eine stattgehabte Ruptur oder Dehnung der Ligg. alaria gedeutet. Pfirrmann et al. fanden aber 2001 in der MRT von Gesunden bei 25% Densdeviationen und bei 88% einen asymmetrischen Bandverlauf (Pfirrmann et al. 2001).

Die Computertomografie hat sich als Verfahren der Wahl zum Ausschluss ossärer Verletzungen oder knöcherner Bandausrisse bewährt und ist heutzutage der Goldstandard, wenn bei entsprechendem Verdacht Frakturen oder Luxationen im Bereich der Halswirbelsäule sicher ausgeschlossen werden müssen (Muhle et al. 2002).

2.6 Darstellung des kraniozervikalen Überganges mittels Magnetresonanztomografie

Im letzten Jahrzehnt sind zunehmend Arbeiten erschienen, die sich der Darstellung des ligamentären Apparates des kraniozervikalen Überganges mittels Magnetresonanztomografie widmen.

Untersuchungen an Gesunden

Anfangs wurden Studien an Gesunden durchgeführt und hier zahlreiche Normvarianten der Ligg. alaria festgestellt, wie Bitterling et al. in ihrer Übersichtsarbeit aus dem Jahre 2007 hervorhoben (Bitterling et al. 2007).

Die erste entsprechende Studie stammt aus dem Jahr 1990 von Boden et al. Sie fanden Auffälligkeiten in der MRT bei 19% der untersuchten asymptomatischen Personen, wobei besonders bei über 40 Jährigen zu 28% pathologische Befunde, wie z. B. Bandscheibenprotrusionen und Verengungen der Neuroforamina, gefunden wurden (Boden et al. 1990).

Pfirrmann et al. konnten mit einer MRT der Magnetfeldstärke von einem Tesla nur bei 80% der Gesunden die Ligg. alaria sicher nachweisen. Unter diesen fand er sehr variable Faserverläufe und in 88% der Fälle asymmetrische Bandverläufe (Pfirrmann et al. 2001).

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Kim et al., die in axialen Schichten nur 66%, aber in koronaren 100% der Flügelbänder sicher identifizieren konnten (Kim et al. 2002).

Einen variablen Bandverlauf beschrieben auch Krakenes et al. in der ersten ihrer zahlreichen Studien zur MR-Morphologie der Ligg. alaria, wobei sie diese in allen Fällen sicher darstellten und erstmals deren Form und Signalverhalten klassifizierten (Krakenes et al. 2001).

Ein weiterer wichtiger Aspekt eines neuen Testverfahrens ist dessen Reliabilität, besonders wenn es sich um eine Untersuchungsmethode handelt, die durch viele verschiedene Individuen angewandt werden soll. Roy et al. stellten in ihrer

Untersuchung aus dem Jahre 2004 fest, dass die Reliabilität der MRT bei der Beurteilung der Ligg. alaria nur mäßig war. Zudem ergab sich beim Vergleich der Befunde mit Feldstärken von 0,5 und 1,5 Tesla eine geringere Reliabilität bei der vermeintlich besseren Darstellung mit 1,5 Tesla (Roy et al. 2004).

Untersuchungen an Schleudertraumapatienten

Nachdem im vorhergehenden Abschnitt Untersuchungen an Gesunden betrachtet wurden, soll nun auf Patienten nach stattgehabtem Schleudertrauma eingegangen werden.

Erstmals wurde eine entsprechende Studie von Ronnen et al. durchgeführt, die 100 Patienten drei Wochen nach Schleudertrauma mit einer MRT von 0,5 Tesla Feldstärke untersuchten, ohne pathologische Befunde in deren Ligg. alaria zu finden (Ronnen et al. 1996).

Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Castro et al., die ein Jahr später freiwillige Probanden einem Unfall mit einer Aufprallgeschwindigkeit zwischen 10 und 15 km/h aussetzten und anschließend mit einer MRT der Stärke 1 Tesla nachuntersuchten (Castro et al. 1997).

Wilmink und Patijn verglichen 2001 eine Fall- und eine Kontrollgruppe mit einer MRT einer Feldstärke von 0,5 Tesla, wobei sie zwar die Läsionen der Ligg. alaria auf einer 4-Punkt-Skala klassifizierten, jedoch aufgrund der vielen Normvarianten nicht zwischen beiden Gruppen unterscheiden konnten (Wilmink und Patijn 2001).

Im deutschen Raum veröffentlichten Volle und Montazem zahlreiche Arbeiten, in denen sie auch eine Klassifikation verschiedener Ruptur- und Narbentypen der Flügelbänder angaben. Sie nutzten hierbei funktionelle MRT-Techniken um Rotationsinstabilitäten nachzuweisen und führten diese sowohl mit 0,2 Tesla als auch 1 Tesla durch (Volle und

Montazem 1997, Schröter 2010). Diese angenommenen Rotationsinstabilitäten waren dann zum Teil Anlass für Spondylodesen vom Occiput bis zum dritten Halswirbelkörper (Montazem 1999). Die entsprechenden Untersuchungen und Therapien sind heute sehr umstritten (Schröter 2010).

Die „Bergener Arbeitsgruppe“

Die meisten Arbeiten zur Darstellung des kraniozervikalen Überganges mittels MRT hat die Forschungsgruppe um Krakenes und Kaale der Universität Bergen veröffentlicht. Diese haben frühzeitig ein festes Untersuchungsregime in einem 1,5 Tesla-MRT etabliert und erstmals den genauen Bandverlauf, deren Form, die Symmetrie und das Signalverhalten beschrieben. Hierfür testeten sie im Rahmen ihrer Pilotstudie zunächst sechs verschiedene MRT-Sequenzen und stellten fest, dass zum damaligen Zeitpunkt die protonendichtegewichtete FSE-Sequenz am wertvollsten für die korrekten Darstellung der ligamentären Strukturen war (Krakenes et al. 2001).

In ihrer Arbeit aus dem Jahre 2002 konnten die Autoren eine Klassifikation der Schwere der beobachteten Bandläsionen im kraniozervikalen Übergang anhand einer 4-Punkt-Skala (Grad 0-3) aufstellen und signifikant höhere Schäden bei den Patienten nach Schleudertrauma im Vergleich zum Normalkollektiv nachweisen (Krakenes et al. 2002). So kamen bei den Gesunden keine Läsionen der Grade 2 und 3 vor. Zudem konnten sie auch die genaue Lokalisation der Schäden im Band darstellen und zeigen, dass besonders häufig die Bandansätze an den Kondylen betroffen sind. Der Unfall lag beim Untersuchungszeitpunkt bereits zwischen 2 und 9 Jahren zurück.

Im Jahre 2005 veröffentlichte die Gruppe zwei weitere Studien zu diesem Thema. Sie konnten die morphologischen Schweregrade, besonders der Schädigungen der Ligg. alaria, direkt mit den Beschwerden der Patienten, die anhand des Neck Disability Score erfasst worden waren, korrelieren (Kaale et al. 2005).

Zum anderen zeigten sie, dass sich die Aufprallrichtung und Kopfstellung beim Unfall auf die Schwere der in der MRT nachweisbaren Läsionen auswirkt. So hatten Patienten, die ursprünglich einen Frontalaufprall erlitten hatten, höhergradige Bandverletzungen als solche, die einem normalen Heckanprall ausgesetzt gewesen waren (Kaale et al. 2005).

Im darauffolgenden Jahr veröffentlichten Krakenes und Kaale eine Review der bestehenden Literatur zu chronischen Beschwerden nach Schleudertrauma, in der sie nochmals hervorhoben, dass durch ein Schleudertrauma die Ligg. alaria verletzt und diese Schäden mittels MRT dargestellt werden können (Krakenes und Kaale 2006).

In neueren Arbeiten der Gruppe wurden nun Patienten direkt nach dem Unfall und nach Ablauf eines Jahres mittels MRT untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass sich in der Akutphase keine Unterschiede im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe finden lassen (Vetti et al. 2011).

In einer zweiten Studie wurden Verunfallte direkt nach dem Trauma und nach 12 Monaten untersucht, wobei sich keine Veränderungen der Schweregrade der Bandläsionen innerhalb dieses Zeitraums feststellen ließen. Zudem wurden die MRT-Aufnahmen mit denen von Patienten mit chronischen Nackenschmerzen verglichen. Hier ließen sich keine signifikanten Unterschiede nachweisen (Vetti et al. 2011).

Die Ergebnisse der Studie von Kaale et al. aus dem Jahr 2005 über den Zusammenhang zwischen den Beschwerden der Patienten und den nachweisbaren Pathologien in der MRT konnten 2011 durch Knackstedt et al. untermauert werden. Diese untersuchten Patienten mit zervikogenem Kopfschmerz und fanden keine Unterschiede in der Morphologie der Ligg. alaria zwischen denen mit schleudertraumaassoziierten Kopfschmerzen und denen mit Migräne (Knackstedt et al. 2011).

Die obigen Ausführungen zeigen, dass es zahlreiche Studien auf dem Gebiet der MRT-Darstellung des kraniozervikalen Überganges gibt und diese zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen kamen. Keine Studie nutzte bislang eine MRT der Feldstärke 3 Tesla. Hierdurch wird zwar aufgrund des höheren Signal-Rausch-Verhältnisses womöglich die Interrater-Reliabilität gesenkt (Roy et al. 2004), aber gleichzeitig eine noch detailliertere Darstellung mit kleineren Schichtdicken ermöglicht.

Schwierig schien besonders die Interpretation der Signalveränderungen der Ligg. alaria zu sein. Nur die Gruppe um Krakenes und Kaale konnte bislang zahlreiche gute Ergebnisse hierzu veröffentlichen. Roy et al. hatten in ihrer Studie bewusst versucht, die Methoden der Bergener Arbeitsgruppe unter vereinfachten, realistischeren Bedingungen nachzustellen, konnten dabei aber keine überzeugenden Resultate erbringen. Es scheint also eine hohe Einarbeitungszeit notwendig zu sein, um mit den genutzten protonendichtegewichteten FSE-Sequenzen die subtilen Veränderungen des Bandapparates zu erkennen und richtig einzuordnen.

3 Ziele der Arbeit

Es gibt eine Vielzahl von Studien, die sich mit dem Verletzungsmechanismus und den möglichen pathophysiologischen Grundlagen der Langzeitbeschwerden von Patienten nach Schleudertrauma auseinandersetzen. Erstmalig sollen nun im Rahmen der Studie die Ligg. alaria in einer MRT einer Magnetfeldstärke von 3 Tesla dargestellt und deren Morphologie in Zusammenhang mit einem stattgehabtem Schleudertrauma betrachtet werden. Im Rahmen der Arbeit sollen hierbei folgende Hypothesen geprüft werden:

1. In der MRT mit einer Magnetfeldstärke von 3 Tesla und der von uns genutzten SPACE-Sequenz sind die Ligg. alaria bei allen Patienten zu detektieren.
2. Es besteht ein Unterschied der MRT-Befunde des kraniozervikalen Überganges zwischen Patienten mit stattgehabtem Schleudertrauma und gesunden Probanden.
 - a) Die Ligg. alaria der beiden Gruppen unterscheiden sich bzgl. ihrer Signalintensität.
 - b) Es ist eine unterschiedliche Homogenität der Flügelbänder der beiden Gruppen festzustellen.
 - c) Die Ligg. alaria der beiden Gruppen weisen eine unterschiedliche Form auf.
 - d) Es zeigt sich beim Vergleich der MRT-Aufnahmen der beiden Patientengruppen eine unterschiedliche Orientierung der Flügelbänder.
 - e) Die beiden Gruppen unterscheiden sich bzgl. der Symmetrie des kraniozervikalen Bandapparates.

3. Es besteht ein Zusammenhang zwischen den von den Patienten im Neck Pain and Disability Scale angegebenen Beschwerden zum Untersuchungszeitpunkt und den MRT-Befunden.
4. Bei den sich im Langzeitverlauf nach dem Unfall verändernden Beschwerden der Patienten dominieren die neurologischen.

4 Kollektiv und Methoden

4.1 Kollektiv

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden bei zwei verschiedenen Kollektiven von Patienten im Alter zwischen 18 und 65 Jahren MRT-Untersuchungen der HWS durchgeführt. Es lag eine Einverständniserklärung seitens der Ethikkommission vor.

Die genauen Kennzeichen der beiden Gruppen sollen im Folgenden erläutert werden.

Die Kontrollgruppe (KG) bestand aus Freiwilligen, die keine Beschwerden oder Vorerkrankungen im Bereich des HWS-/Kopfbereiches aufwiesen. Die Messungen wurden im Zeitraum von Juni 2006 bis August 2007 an insgesamt 107 Personen durchgeführt, von denen 50 in die Kontrollgruppe eingeschlossen wurden. Die Auswahl erfolgte per Zufall in Form eines Gruppen-Matchings, um Unterschiede bzgl. Alter und Geschlecht zur Patientengruppe zu beheben.

Die Patientengruppe (PG) bestand aus Patienten, die im Zeitraum von Januar 2005 bis Juli 2008 im Rahmen eines Verkehrsunfalles in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikum Jena in ambulanter oder stationärer Behandlung waren und dabei eine HWS-Distorsion diagnostiziert wurde. In diesem Zusammenhang bestanden die folgenden Ein- und Ausschlusskriterien.

Einschlusskriterien:

- Alter zwischen 18 und 65 Jahren zum Zeitpunkt der MRT-Untersuchung
- Vorliegen einer Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie
- Stellung der Diagnose „HWS-Distorsion“ im Zeitraum 2005 bis 2008 im Rahmen eines Verkehrsunfalles als PKW-Insasse

Ausschlusskriterien:

- Zeitliches Intervall seit dem Unfall von weniger als 6 Monaten, um Langzeitfolgen durch die Messung erfassen zu können
- Vorliegen bekannter degenerativer oder chronisch entzündlicher Wirbelsäulenveränderungen
- Vorliegen zusätzlicher Verletzungen als Unfallfolgen im Bereich des Kopfes oder des Achsenskelettes
- Stattgehabte operative Eingriffe im Bereich der Wirbelsäule
- Platzangst (dieses Ausschlusskriterium zeigte sich mitunter erst während der laufenden MRT-Untersuchung)
- Allgemein bekannte Kontraindikationen der MRT, wie z. B. Vorliegen eines Herzschrittmachers, Cochlea-Implantate

Im Zeitraum von Januar 2005 bis Juli 2008 war bei 383 Patienten in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie die Diagnose HWS-Distorsion neu gestellt worden. Nachdem diese auf die Ein- und Ausschlusskriterien geprüft worden waren, konnten noch 212 Patienten (55 %) schriftlich und telefonisch um Teilnahme an der Studie gefragt werden. Von diesen erklärten sich 42 (20 %) einverstanden an der Studie teilzunehmen. Aufgrund von während der Messungen auftretender Platzangst konnten 39 Patienten (18 %) komplett im MRT gemessen und somit in die Patientengruppe eingeschlossen werden. (vgl. Abbildung 2)

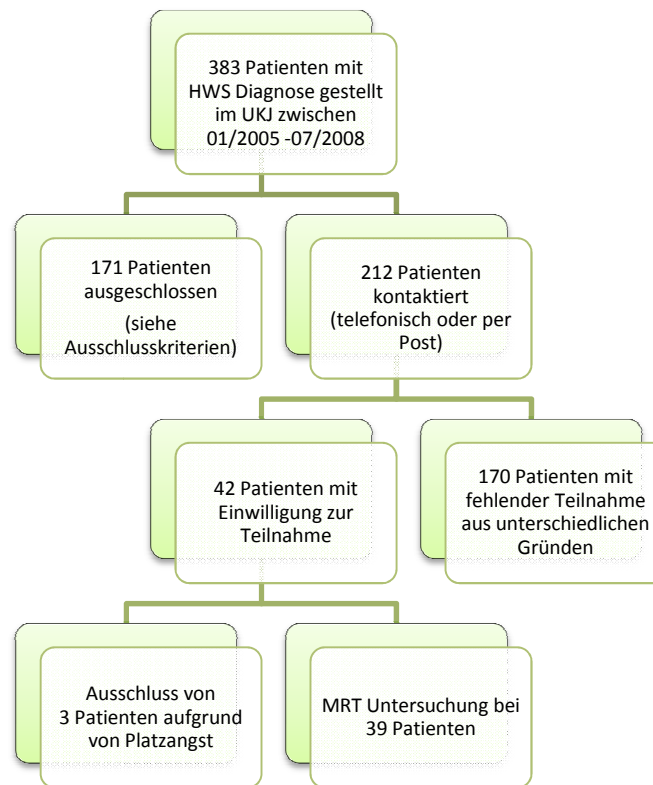


Abbildung 2 - Übersicht über Patienteneinschluss

Von den 212 in Frage kommenden Patienten nahmen 170 aus folgenden Gründen nicht an der Studie teil:

- Fehlende Erreichbarkeit bzw. fehlende Antwort auf das Anschreiben
- Bekannte Platzangst
- Ablehnung der MRT-Untersuchung
- Entfernung zum Wohnort
- Eingeschränkte Terminverfügbarkeit am Forschungs-MRT
- Fehlende Motivation

Allgemeine Merkmale

Das Gesamtkollektiv der Studie bestand aus 89 Teilnehmern, wobei 39 in der Patientengruppe und 50 in der Kontrollgruppe zu finden waren. (vgl. Tabelle 2)

Tabelle 2 - Anzahl der Gruppenteilnehmer

	Häufigkeit	Prozent
Patientengruppe	39	43,8
Kontrollgruppe	50	56,2
Gesamtkollektiv	89	100

Das durchschnittliche Alter des Gesamtkollektives betrug 35,4 Jahre (Min 19; Max 64; Median 29; SD13,6), wobei die KG ein Durchschnittsalter von 33,5 Jahren (Min 19; Max 62; Median 27; SD 13,2) und die PG von 37,9 Jahren (Min19; Max 64; Median 37; SD 13,9) aufwiesen. Ein signifikanter Unterschied bzgl. des Alters bestand nicht ($p=0,225$).

Tabelle 3 - Geschlechterverteilung innerhalb der Gruppen

Die Betrachtung der Geschlechterverteilung innerhalb des Gesamtkollektives erbrachte ein Verhältnis von 40 Männern (44,9%) zu 49 Frauen (55,1 %). Innerhalb der KG bestand eine Gleichverteilung von je 25 Männern und Frauen. Im Gegensatz hierzu fand sich

Gruppenzugehörigkeit		Häufigkeit	Prozent
Patientengruppe	Männlich	15	38,5
	Weiblich	24	61,5
	Gesamt	39	100
Kontrollgruppe	Männlich	25	50
	Weiblich	25	50
	Gesamt	50	100

innerhalb der PG ein Überhang an weiblichen Studienteilnehmern. Das Verhältnis war hier 15 Männer (38,5%) zu 24 Frauen (61,5%). Ein statistischer Unterschied bezogen auf das Geschlecht ließ sich zwischen den beiden Gruppen nicht nachweisen ($p=0,278$). (vgl. Tabelle 3)

Merkmale innerhalb der Patientengruppe

Alle Teilnehmer des Patientenkollektives hatten im Zeitraum von Januar 2005 bis zum Juli 2008 einen Verkehrsunfall als PKW-Insassen mit einer HWS-Distorsion erlitten. Der zeitliche Abstand zwischen dem stattgehabtem Trauma und der MRT der Halswirbelsäule betrug im Durchschnitt 25 Monate (Min 10; Max 43; Median 22; SD 9,2).

Es wurde vor Durchführung der MRT auch der Kollisionstyp erfasst. In 30,8 % der Fälle hatte der Proband in dem PKW gesessen, auf den von hinten kommend aufgefahren worden war. Eine Frontalkollision, ob auf ein entgegenkommendes Fahrzeug oder ein festes Hindernis war in 41 % der Fälle zu verzeichnen. Die restlichen 28,2 % der Patienten hatten entweder eine Kollision mit seitlicher Krafteinwirkung oder ein gemischtes Unfallbild erlitten. (vgl. Tabelle 4)

Tabelle 4 - Kollisionstypen

	Häufigkeit	Prozent
Heckkollision	12	30,8
Frontalkollision	16	41
Seitkollision oder gemischter Unfallmechanismus	11	28,2
Gesamt	39	100

Die Probanden wurden auch gefragt, ob der Unfall für sie komplett unerwartet kam oder eine kurze Vorwarnzeit bestand. 38,5 Prozent der Patienten gaben ein unerwartetes Unfallereignis an, auf das sie sich nicht einstellen konnten.

4.2 Methoden

4.2.1 Studiendesign

Das Studiendesign entspricht dem einer retrospektiven Kohortenstudie. Von allen Teilnehmern wurden mittels MRT Aufnahmen der Halswirbelsäule erstellt. Die Teilnehmer in der Patientengruppe erhielten zudem noch Fragebögen, um ihre Beschwerden zu erfassen.

4.2.2 Fragebögen der Patientengruppe

NPAD

Die Erfassung der aktuellen Beschwerden und Einschränkungen der Patienten mit stattgehabter HWS-Distorsion erfolgte durch Befragung anhand der deutschsprachigen Version des Neck Pain and Disability Scale, die von Wheeler et al. speziell zur Erfassung von Nackenbeschwerden erstellt wurden (Wheeler et al. 1999).

Der Fragebogen enthält 20 Items, die sowohl das genaue Ausmaß und Auftreten der Schmerzen als auch die Einschränkungen im täglichen Leben erfassen. Die Beantwortung der Fragen erfolgt anhand einer sechsstufigen Antwortskala von 0 bis 5. Die erreichten Werte werden dann addiert und können Werte zwischen minimal 0 und maximal 100 erreichen. Der NPAD-Fragebogen befindet sich im Anhang.

Symptome des Schleudertraumas nach Ronnen

1996 wurden von Ronnen et al. zahlreiche typische Beschwerden von Patienten nach HWS-Distorsion als Zeichen eines Schleudertraumas dokumentiert (Ronnen et al. 1996). Diese sollen im Folgenden genannt werden:

- Gefühl der Steifheit im Genick,
- Kopfschmerzen,
- Occipitaler Kopfschmerz,
- Einschränkung bei Rotationsbewegungen des Kopfes,
- Einschränkung bei Extension/Flexion,
- Konzentrationsstörungen,

- Parästhesien der Arme und Hände,
- Hörstörungen,
- Schwindel,
- Müdigkeit,
- Störungen des Kurzzeitgedächtnisses,
- Persönlichkeitsveränderungen,
- Wortfindungsstörungen,
- Neurologische Defizite,
- Radikulärsymptomatik.

Die Patienten mit stattgehabtem Schleudertrauma wurden hinsichtlich des Auftretens der Symptome und deren zeitlichem Zusammenhang befragt. Sie konnten jeweils angeben, ob ein Symptom am Tage des Unfalles, in der darauffolgenden Woche oder im Verlauf des nächsten halben Jahres bestand. (vgl. Abbildung 3)

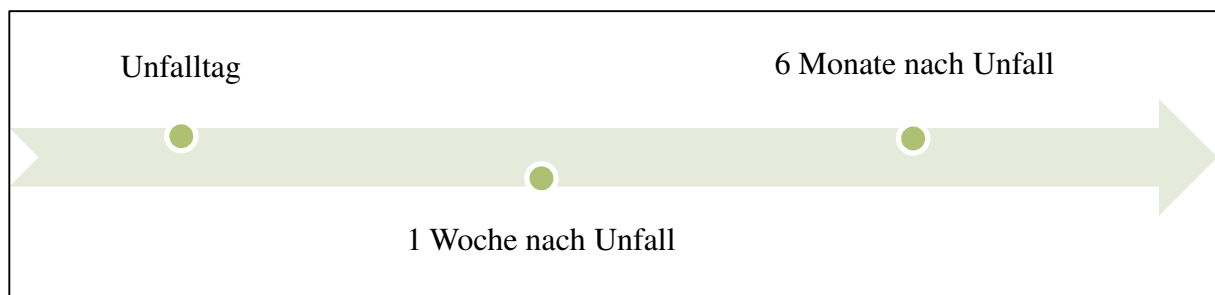


Abbildung 3 – Erfassung des Beschwerdeverlaufs

4.2.3 MRT-Aufnahmen im 3-Tesla-MRT

Die Magnetresonanztomografie ist heute ein weit verbreitetes Verfahren in der diagnostischen Radiologie. Sie ermöglicht im Vergleich zu anderen Methoden eine besonders gute Beurteilbarkeit von Weichgewebestrukturen. Die MRT ist zum Beispiel das Standardverfahren zur Darstellung ligamentärer Verletzungen im Bereich der großen Gelenke des Körpers und zur Beurteilung der Bandscheiben und Nervenwurzeln der Wirbelsäule. Im Rahmen der Studie wurde nun das Augenmerk auf die ligamentären

Verbindungen im Bereich des kraniozervikalen Überganges gelegt, wobei besonders die Ligg. alaria im Fokus der Beurteilung standen.

Die Untersuchung erfolgte in einem „Magnetom Trio“ der Firma Siemens mit einer Magnetfeldstärke von 3 Tesla. Es wurde eine T2-Wichtung mit einer Schichtdicke von 0,8 mm in sagittaler Orientierung durchgeführt und danach ein 3D-Block mit 176 Schichten erstellt. Diese können in allen Raumachsen frei gedreht werden, was eine genaue Einstellung entlang der zu untersuchenden Bänder ermöglicht.

Es handelte sich um eine T2-gewichtete TSE SPACE-Sequenz mit folgenden Parametern: Kontrast: TR = 3000 ms, TE = 337 ms, FoV-Auslese 206 mm, FoV-Phase 84,4 %, Basisauflösung 256, Schicht Partial Fourier 7/8, Bandbreite 888 Hz/Px, Echoabstand 3,8 ms, Phasenkoordinationsrichtung AP, Flipwinkel Modus T2 var.

Die erst seit wenigen Jahren zur Verfügung stehende SPACE-Technik wurde auf ihre Anwendbarkeit im kraniozervikalen Übergang in einer Studie von Baumert et al. erprobt (Baumert et al. 2009). Diese konnte bei allen 52 gesunden Probanden die Ligg. alaria mithilfe der durch die SPACE-Technik möglichen Rekonstruktionen detektieren. Es zeigte sich zudem eine hohe Interrater-Reliabilität. Im Gegensatz zu konventionellen T2-gewichteten TSE-Sequenzen arbeitet die SPACE-Technik mit einem variablen Flipwinkel unter 180°, wodurch mit einem wesentlich niedrigeren Echoabstand gearbeitet werden kann und sich damit die Untersuchungszeit deutlich verkürzt. Dadurch können variable Rekonstruktionen erzeugt und störende Artefakte besser eliminiert werden (Baumert et al. 2009).

4.2.4 Auswertung der Aufnahmen durch zwei unabhängige Observer

Die angefertigten MRT-Aufnahmen der Probanden wurden jeweils durch zwei unabhängige Fachärzte für Radiologie befundet. Hierbei wurden jeweils für das linke und rechte Lig. alare die folgenden Items bestimmt: Detektierbarkeit, Intensität, Homogenität, Form und Orientierung. Zum Schluss wurde jeweils noch angegeben, ob die beiden Bänder symmetrisch waren.

Die Ergebnisse wurden anhand einer Ordinalskala für jedes Item festgehalten. Die Detektierbarkeit wurde in glatt (1), unscharf (2) und nicht (3) unterschieden. (vgl. Abbildung 4)

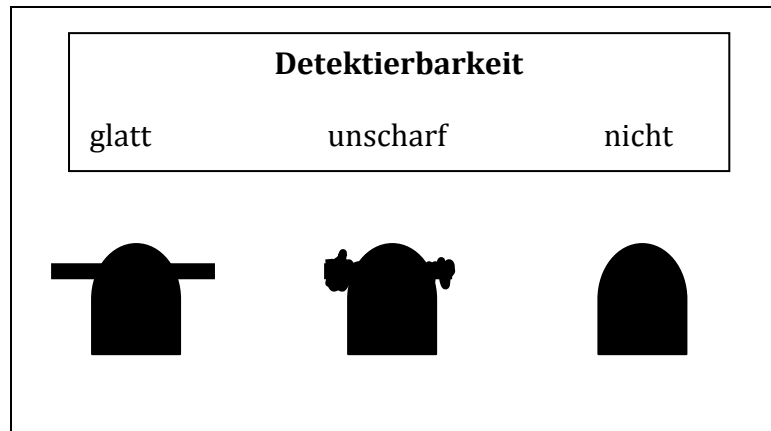


Abbildung 4 – Skizze der Detektierbarkeit

Im Falle der Intensität wurde diese jeweils mit der dargestellten Muskulatur verglichen und danach in hypointens (1), isointens (2) oder hyperintens (3) eingeteilt. (vgl. Abbildung 5)

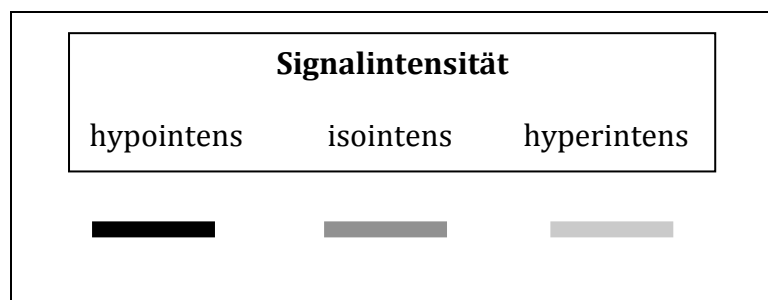


Abbildung 5 – Skizze der Signalintensität

Die Homogenität konnte als Ausprägung entweder homogen (1) oder inhomogen (2) annehmen. (vgl. Abbildung 6)

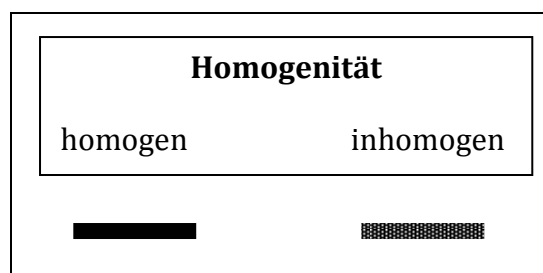


Abbildung 6 – Skizze der Homogenität

Die Form der Bänder wurde von ihrem Ursprung aus als konvergent (1), parallel (2) oder divergent (3) bezeichnet. (vgl. Abbildung 7)

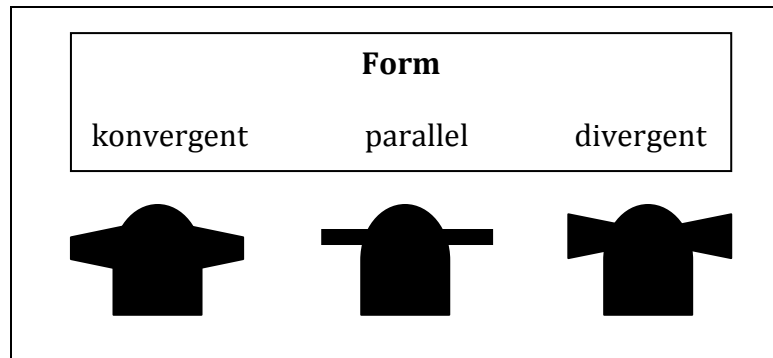


Abbildung 7 – Skizze der Form

Die Orientierung der Bänder wurde bezogen von ihrem Ursprung am Dens axis als kranial (1), horizontal (2) oder kaudal (3) eingestuft. (vgl. Abbildung 8)

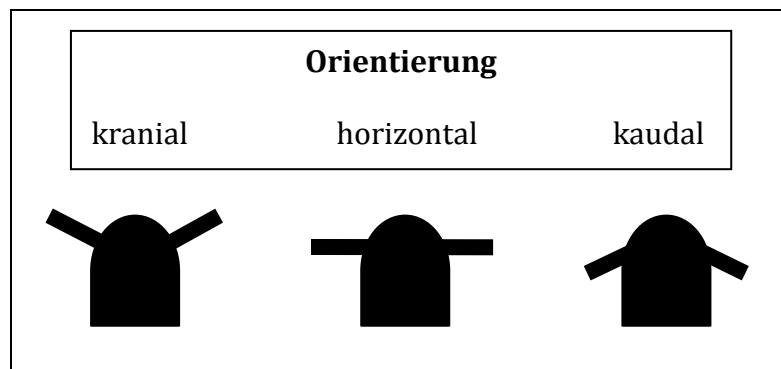


Abbildung 8 – Skizze der Orientierung

Die Symmetrie der beiden Bänder konnte den Wert symmetrisch (1) oder asymmetrisch (2) annehmen. (vgl. Abbildung 9)

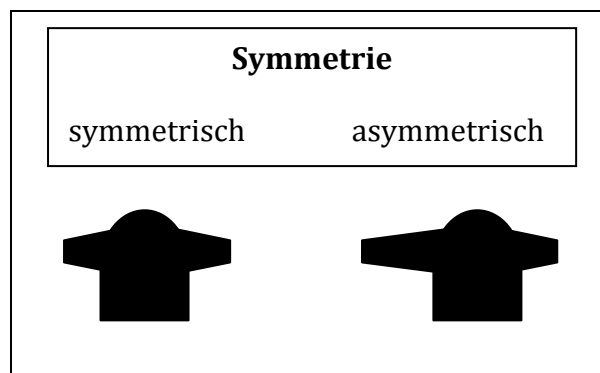


Abbildung 9 – Skizze der Symmetrie

Alle Items wurden in der oben genannten Art und Weise von den zwei Observern für beide Ligg. alaria bestimmt.

Danach erfolgte mittels Kappa-Test ein Vergleich der Interrater-Reliabilität, um mögliche statistische Unterschiede zwischen den beiden befundenden Radiologen zu erfassen.

Das folgende Beispiel soll die Graduierung anhand der oben dargestellten Items verdeutlichen. Man kann die Ligg. alaria eindeutig detektieren. Sie weisen eine homogene, hypointense Signalintensität, eine konvergente Form und einen horizontalen Verlauf auf. Der kraniozervikale Übergang stellt sich asymmetrisch dar. (vgl. Abbildung 10)

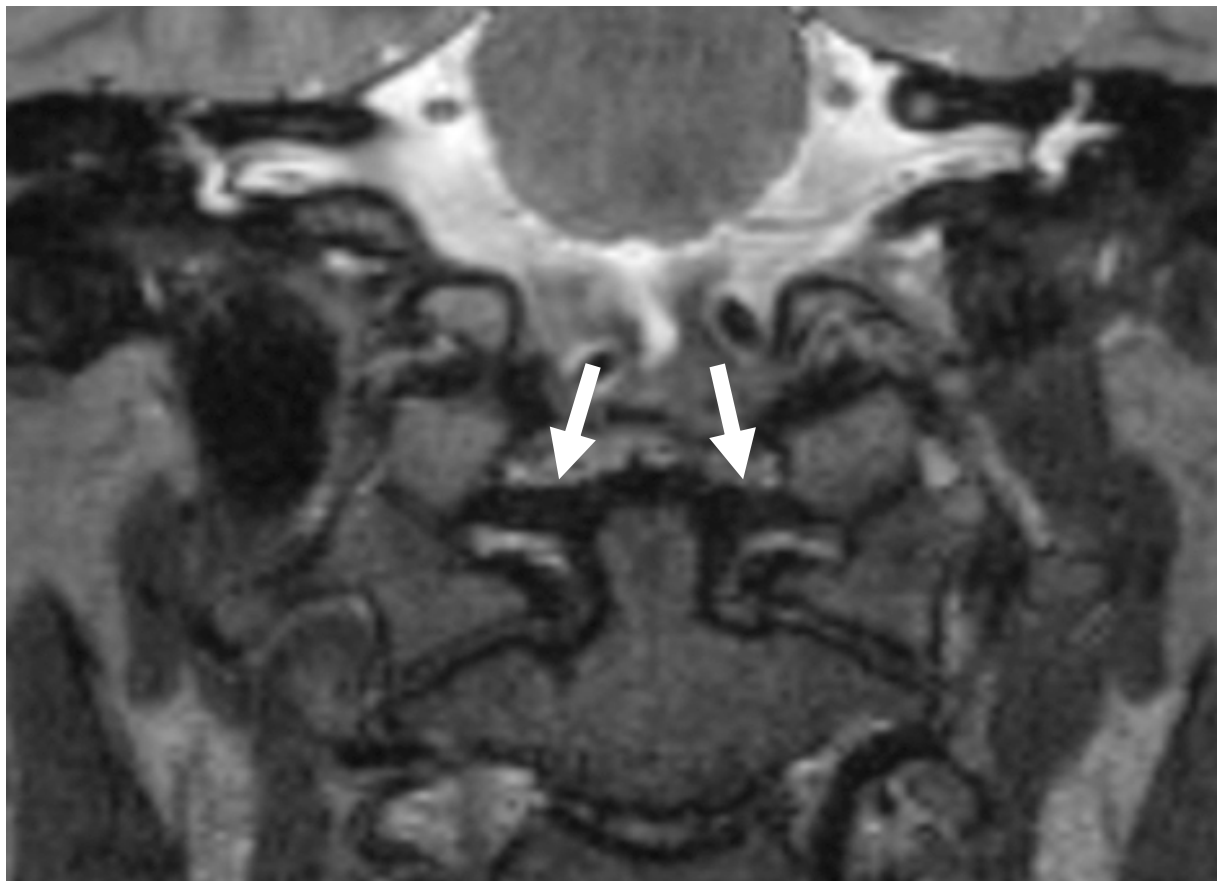


Abbildung 10 - koronare MRT-Aufnahme der Ligg. alaria mit T2-gewichteter TSE SPACE-Sequenz

5 Ergebnisse

Die folgenden Ergebnisse wurden mit Hilfe von SPSS für Windows (Version 18.0) statistisch ausgewertet.

Im Rahmen der Auswertung der MRT-Daten war ein Interrater-Vergleich notwendig. Dieser wurde mithilfe des Kappa-Testes von Cohen durchgeführt (Cohen 1960). Er erlaubt eine Aussage darüber, ob die Ergebnisse der beiden Beobachter nur zufällig übereinstimmen. Laut Landis und Koch sind Kappa-Koeffizienten von 0,81-1,0 als fast vollkommene (almost perfect) Übereinstimmung und 0,61-0,80 als beachtliche (substantial) Übereinstimmung zu werten (Landis und Koch 1977). Niedrigere Ergebnisse wurden im Rahmen dieser Studie nicht erzielt.

Nach dem Ausschluss eines statistisch relevanten Unterschiedes zwischen beiden Beobachtern wurden dann die beiden Studiengruppen anhand der Daten des ersten Observers mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests verglichen. Sofern eine erwartete Häufigkeit unter 5 lag, wurde der Exakte Test nach Fisher zur statistischen Auswertung genutzt.

Für die Auswertung der Ergebnisse des NPAD-Scale wurde der Mann-Whitney-U-Test oder bei einer erwarteten Häufigkeit unter 5 der Kruskal-Wallis-Test verwendet.

5.1 Auswertung der MRT-Daten beider Gruppen

5.1.1 Detektierbarkeit

Beide Observer sollten angeben, wie gut die Ligg. alaria in den durchgeführten MRT-Aufnahmen zu finden waren.

Observer 1 bezeichnete 89,9% der rechten und 87,6% der linken Ligg. alaria als glatt detektierbar. Die restlichen 10,1% bzw. 12,4% wurden als unscharf eingestuft. In keiner der Aufnahmen waren die Flügelbänder nicht zu detektieren.

Observer 2 wertete 86,5% der rechten und 80,9% der linken Ligg. alaria als glatt. Auch hier waren die Ligg. alaria immer zu detektieren und die restlichen 13,5% bzw. 19,1% kamen unscharf zur Darstellung.

Die Befunde der beiden Observer stimmen zu 96,6% (rechts) und 93,3% (links) überein. Der Kappa-Test zum Interobserververgleich erbrachte Werte von 0,838 rechts und 0,748 links. (vgl. Tabelle 5)

Tabelle 5- Detektierbarkeit der Ligg. alaria – Interobserververgleich

		Observer 1		Observer 2		Kappa-Koeffizient
		Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	
Detektierbarkeit rechts	glatt	80	89,9	77	86,5	0,838
	unscharf	9	10,1	12	13,5	
Detektierbarkeit links	glatt	78	87,6	72	80,9	0,748
	unscharf	11	12,4	17	19,1	

Innerhalb der beiden Gruppen der Studie zeigte sich folgendes Ergebnis: In der PG wiesen 89,7% der Ligg alaria rechts und 87,2% links eine glatte Detektierbarkeit auf und in der KG 90% rechts und 88% links. Ein signifikanter Unterschied bestand zwischen den beiden Gruppen nicht (rechts $p=0,618$; links $p=0,578$). (vgl. Tabelle 6 und Abbildung 11)

Tabelle 6 - Detektierbarkeit der Ligg. alaria - Vergleich KG und PG

		Patientengruppe (n=39)		Kontrollgruppe (n=50)		Signifikanz
		Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	
Detektierbarkeit rechts	glatt	35	89,7	45	90	0,618
	unscharf	4	10,3	5	10	
Detektierbarkeit links	glatt	34	87,2	44	88	0,578
	unscharf	5	12,8	6	12	

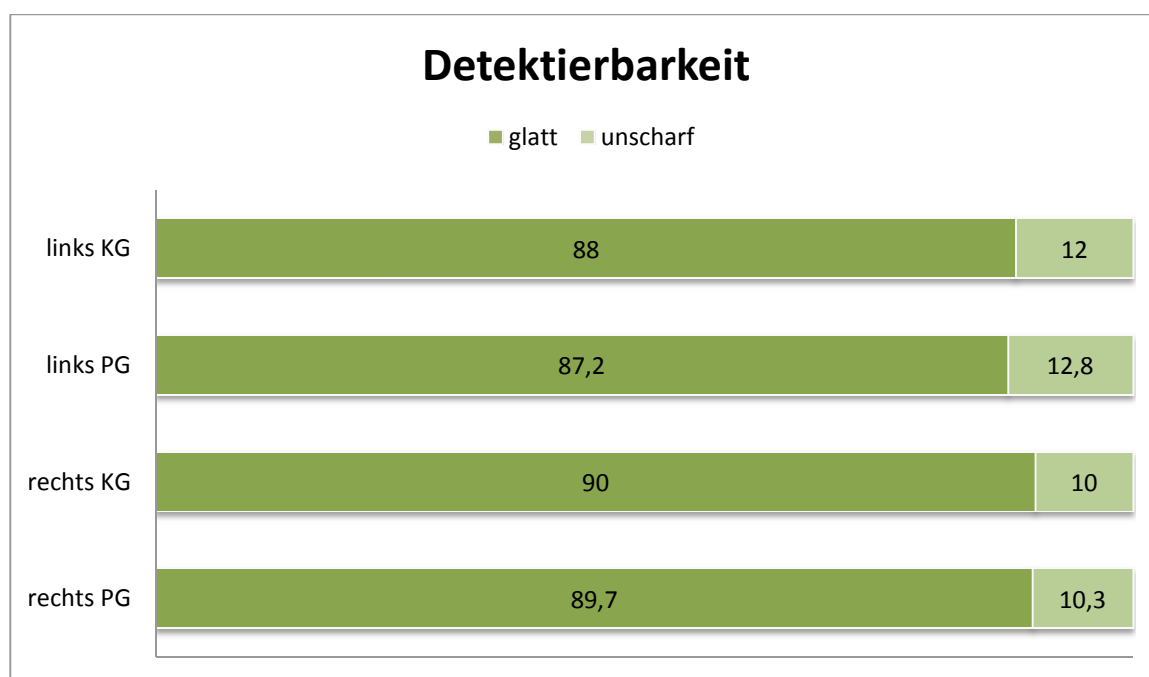


Abbildung 11 - Detektierbarkeit der Ligg. alaria

5.1.2 Signalintensität

Die Signalintensität der Ligg. alaria sollte im Vergleich zum M. sternocleidomastoideus in hypointens, isointens oder hyperintens eingestuft werden.

Observer 1 bezeichnete 87,6% der rechten Flügelbänder als hypointens, 2,2% als isointens und 10,1% als hyperintens. Das linke Lig. alare war zu 89,9% als hypointens, 2,2% als isointens und 7,9% als hyperintens eingestuft worden.

Auch Observer 2 bewertete die MRT-Bilder ähnlich. 86,5% der rechten Ligg. alaria wurden als hypointens eingestuft, 2,2% als isointens und 11,2% als hyperintens. Die linken Flügelbänder zeigen eine ähnliche Verteilung mit 88,8% hypointens, 1,1% isointens und 10,1% hyperintens.

Die Übereinstimmung zwischen beiden Beobachtern betrug 96,6% (rechts) und 97,8% (links). Der Interobserververgleich ergab Kappa-Koeffizienten von 0,853 und 0,884. (vgl. Tabelle 7)

Tabelle 7- Signalintensität der Ligg. alaria - Interobserververgleich

		Observer 1		Observer 2		Kappa-Koeffizient
		Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	
Signalintensität rechts	hypointens	78	87,6	77	86,5	0,853
	isointens	2	2,2	2	2,2	
	hyperintens	9	10,1	10	11,2	
Signalintensität links	hypointens	80	89,9	79	88,8	0,884
	isointens	2	2,2	1	1,1	
	hyperintens	7	7,9	9	10,1	

Die Verteilung der Werte zwischen den beiden Gruppen der Studie war unterschiedlich. Die PG wies beidseits mit 97,4% deutlich mehr als hypointens eingestufte Flügelbänder

als die KG mit 80% bzw. 84% auf. Innerhalb der PG wurde keines der Bänder als hyperintens bezeichnet, im Vergleich zu 18% bzw. 14% in der KG.

Ein signifikanter Unterschied konnte für die Signalintensität der rechten Lig. alare nachgewiesen werden (rechts $p = 0,02$; links $p = 0,52$). (vgl. Tabelle 8 und Abbildung 12)

Tabelle 8 - Signalintensität der Ligg. alaria - Vergleich KG und PG

		Patientengruppe (n=39)		Kontrollgruppe (n=50)		Signifikanz
		Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	
Signalintensität rechts	hypointens	38	97,4	40	80	0,02**
	isointens	1	2,6	1	2	
	hyperintens	0	0	9	18	
Signalintensität links	hypointens	38	97,4	42	84	0,52
	isointens	1	2,6	1	2	
	hyperintens	0	0	7	14	

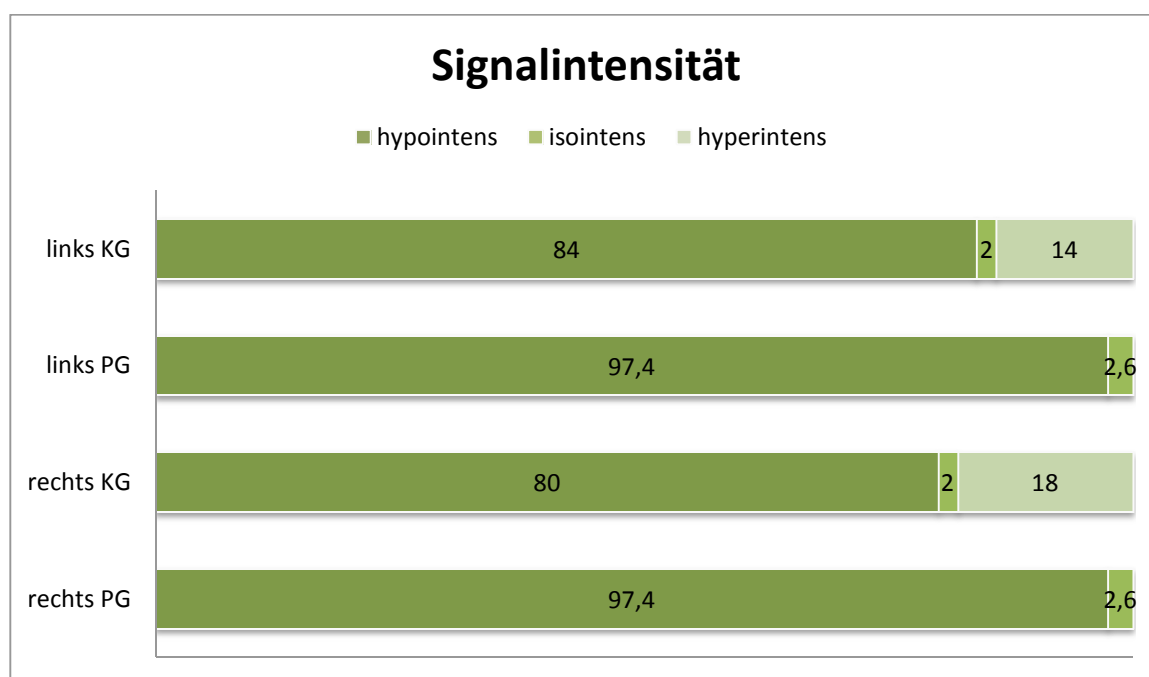


Abbildung 12- Signalintensität der Ligg. alaria

5.1.3 Homogenität

Observer 1 stuft 46,1% der rechten und 43,1% der linken Ligg. alaria als homogen ein. Die Bänder der anderen Patienten wurden als inhomogen bezeichnet.

Zu einer ähnlichen Bewertung kam auch Observer 2, der 42,7% der rechten und 44,9% der linken Flügelbänder der Kategorie homogen zuordnete.

Die Ergebnisse der beiden Radiologen stimmten zu 87,6% bzw. 94,4% überein. Die Kappa-Werte betrugen 0,750 und 0,886. (vgl. Tabelle 9)

Tabelle 9 - Homogenität der Ligg. alaria - Interobserververgleich

		Observer 1		Observer 2		Kappa-Koeffizient
		Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	
Homogenität rechts	homogen	41	46,1	38	42,7	0,750
	inhomogen	48	53,9	51	57,3	
Homogenität links	homogen	39	43,8	40	44,9	0,886
	inhomogen	50	56,2	49	55,1	

Innerhalb der beiden Gruppen der Studie zeigte sich eine ähnliche Verteilung in Bezug auf die Homogenität der Bänder. In der PG waren beidseits 46,2% und in der KG 46% bzw. 42% der Flügelbänder als homogen eingestuft worden. Es ließ sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen nachweisen (rechts $p=0,988$; links $p=0,695$). (vgl. Tabelle 10 und Abbildung 13)

Tabelle 10 - Homogenität der Ligg. alaria - Vergleich KG und PG

		Patientengruppe (n=39)		Kontrollgruppe (n=50)		Signifikanz
		Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	
Homogenität rechts	homogen	18	46,2	23	46	0,988
	inhomogen	21	53,8	27	54	
Homogenität links	homogen	18	46,2	21	42	0,695
	inhomogen	21	53,8	29	58	

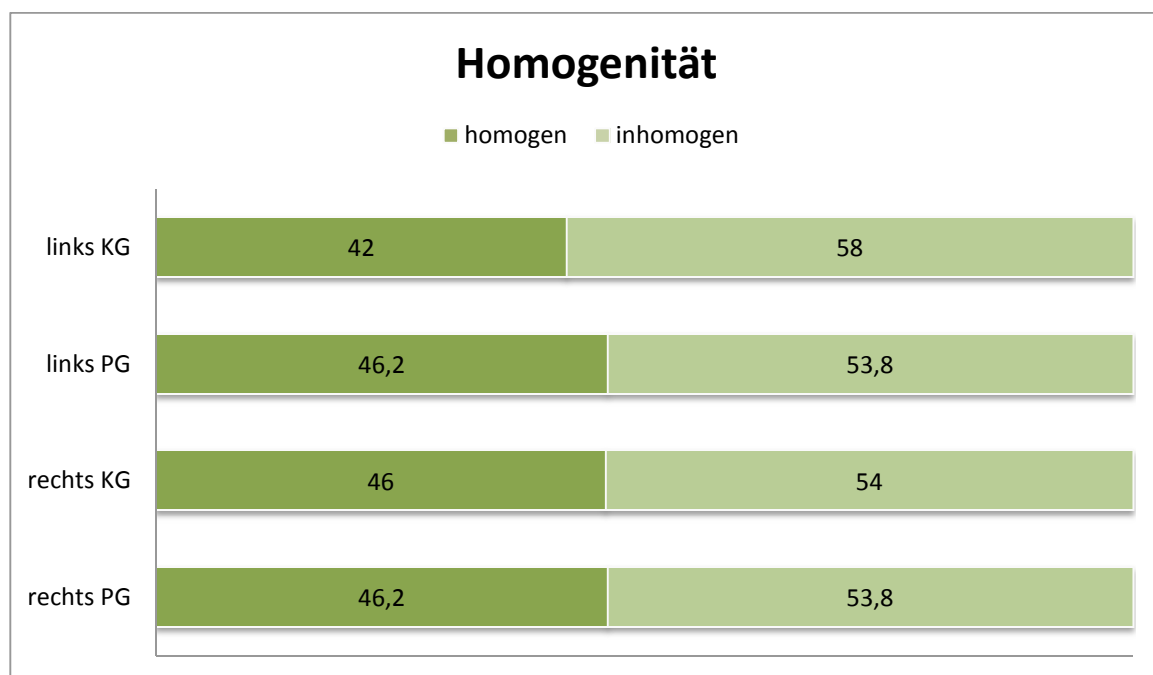


Abbildung 13 - Homogenität der Ligg. alaria

5.1.4 Form

Die Form der Flügelbänder wurde von ihrem Ursprung aus als konvergent, parallel oder divergent eingestuft. In keiner der MRT-Darstellungen wurde durch einen der befundenden Radiologen ein Band als divergent klassifiziert.

Zwischen den beiden Beobachtern zeigten sich wieder nur sehr geringe Unterschiede. Observer 1 stufte 67,4% der rechten und 65,2% der linken Ligg. alaria als konvergent und die anderen als parallel ein. Observer 2 bezeichnete 69,7% der rechten und 66,3% der linken Flügelbänder als konvergent.

Die Übereinstimmung zwischen den Beobachtern lag bei 88,8% (rechts) und 94,4% (links). Es ergaben sich hieraus Kappa-Koeffizienten von 0,74 und 0,875. (vgl. Tabelle 11)

Tabelle 11 - Form der Ligg. alaria - Interobserververgleich

		Observer 1		Observer 2		Kappa-Koeffizient
		Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	
Form rechts	konvergent	60	67,4	62	69,7	0,740
	parallel	29	32,6	27	30,3	
Form links	konvergent	58	65,2	59	66,3	0,875
	parallel	31	34,8	30	33,7	

Zwischen den beiden Gruppen der Studie zeigten sich auch in Bezug auf die Form keine signifikanten Unterschiede (rechts $p=0,894$; links $p=0,793$). Die PG wies beidseits zu 66,7% konvergente Flügelbänder auf, und auch in der KG waren die Ergebnisse mit 68% (rechts) und 64% (links) sehr ähnlich. (vgl. Tabelle 12 und Abbildung 14)

Tabelle 12 - Form der Ligg. alaria - Vergleich KG und PG

		Patientengruppe (n=39)		Kontrollgruppe (n=50)		Signifikanz
		Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	
Form rechts	konvergent	26	66,7	34	68	0,894
	parallel	13	33,3	16	32	
Form links	konvergent	26	66,7	32	64	0,793
	parallel	13	33,3	18	36	

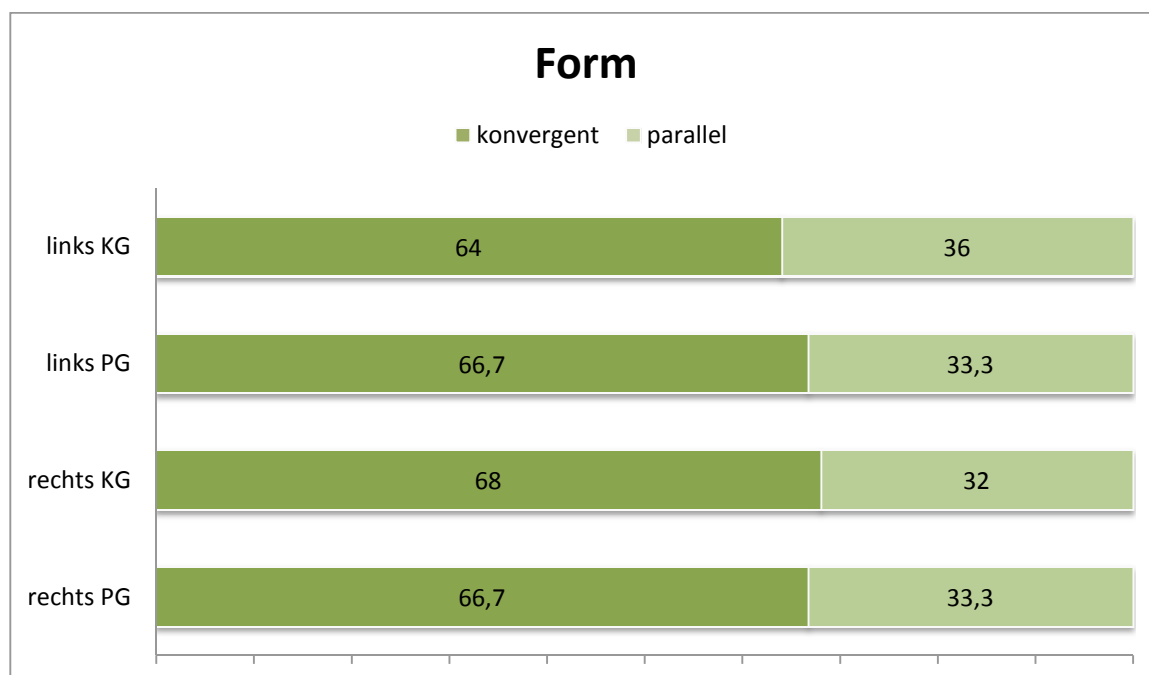


Abbildung 14 - Form der Ligg. alaria

5.1.5 Orientierung

Die Orientierung der Ligg. alaria wurde von ihrem Ursprung am Dens axis aus als kranial, horizontal oder kaudal eingestuft.

Hierbei klassifizierte Observer 1 34,8% der rechten Flügelbänder als kranial, 62,9% als horizontal und 2,2% als kaudal. Die linken Ligg. alaria waren zu 42,7% kranial, 53,9% horizontal und 3,4% kaudal.

Observer 2 wertete auch 34,8% der rechten Bänder als kranial, 60,7% als horizontal und 4,5% als kaudal. Der linke Bandapparat wurde in 42,7% der Fälle als kranial, 48,3% als horizontal und 9% als kaudal eingestuft.

Eine Übereinstimmung der Ergebnisse lag in 93,3% (rechts) bzw. 85,4% (links) der Fälle vor. Die Kappa-Werte betrugen 0,864 und 0,736. (vgl. Tabelle 13)

Tabelle 13- Orientierung der Ligg. alaria - Interobserververgleich

		Observer 1		Observer 2		Kappa-Koeffizient
		Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	
Orientierung rechts	kranial	31	34,8	31	34,8	0,864
	horizontal	56	62,9	54	60,7	
	kaudal	2	2,2	4	4,5	
Orientierung links	kranial	38	42,7	38	42,7	0,736
	horizontal	48	53,9	43	48,3	
	kaudal	3	3,4	8	9,0	

Innerhalb der PG wurden 33,3% der rechten Flügelbänder und 38,5% der linken in ihrem Verlauf als kranial eingestuft. Die restlichen Aufnahmen wurden jeweils als horizontal eingestuft, eine kaudale Orientierung wurde nicht beschrieben. In der KG zeigten sich 36% der rechten Ligg. alaria mit kranialem, 60% mit horizontalem und 4%

mit kaudalem Verlauf. Der linke Bandapparat wurde in 46% der Fälle als kranial, 48% als horizontal und 6% als kaudal eingestuft.

Ein signifikanter Unterschied konnte zwischen den beiden Gruppen nicht nachgewiesen werden (rechts $p=0,415$; links $p=0,185$). (vgl. Tabelle 14 und Abbildung 15)

Tabelle 14 - Orientierung der Ligg. alaria - Vergleich KG und PG

		Patientengruppe (n=39)		Kontrollgruppe (n=50)		Signifikanz
		Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	
Orientierung rechts	kranial	13	33,3	18	36	0,415
	horizontal	26	66,7	30	60	
	kaudal	0	0	2	4	
Orientierung links	kranial	15	38,5	23	46	0,185
	horizontal	24	61,5	24	48	
	kaudal	0	0	3	6	

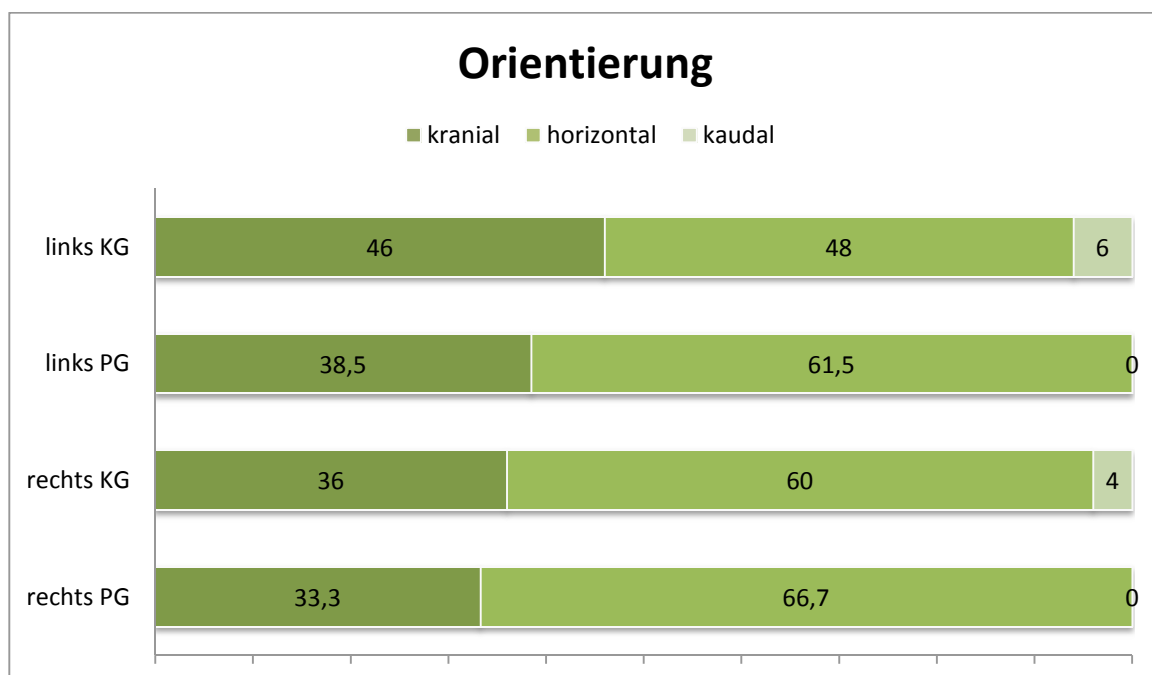


Abbildung 15 - Orientierung der Ligg. alaria

5.1.6 Symmetrie

Zuletzt wurden die MRT-Aufnahmen der Patienten auch hinsichtlich der Symmetrie des Bandapparates der beiden Ligg. alaria beurteilt.

Sowohl Observer 1 als auch Observer 2 bezeichneten in 38,2% der Flügelbänder als symmetrisch zueinander.

Die Bewertung stimmte in 93,3% der Fälle überein. Es ergab sich ein Kappa-Koeffizient von 0,857. (vgl. Tabelle 15)

Tabelle 15- Symmetrie der Ligg. alaria - Interobserververgleich

		Observer 1		Observer 2		Kappa-Koeffizient
		Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	
Symmetrie	symmetrisch	34	38,2	34	38,2	0,857
	asymmetrisch	55	61,8	55	61,8	

Beim Vergleich der beiden Studiengruppen zeigte sich ein deutlicher Unterschied. 66,7% der Patienten der PG wurden als symmetrisch eingestuft, wohingegen in der KG nur 16% der Fälle als symmetrisch klassifiziert wurden. Es konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen nachgewiesen werden ($p < 0,01$). (vgl. Tabelle 16 und Abbildung 16)

Tabelle 16 - Symmetrie der Ligg. alaria - Vergleich KG und PG

		Patientengruppe (n=39)		Kontrollgruppe (n=50)		Signifikanz
		Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	
Symmetrie	symmetrisch	26	66,7	8	16	<0,01**
	asymmetrisch	13	33,3	42	84	

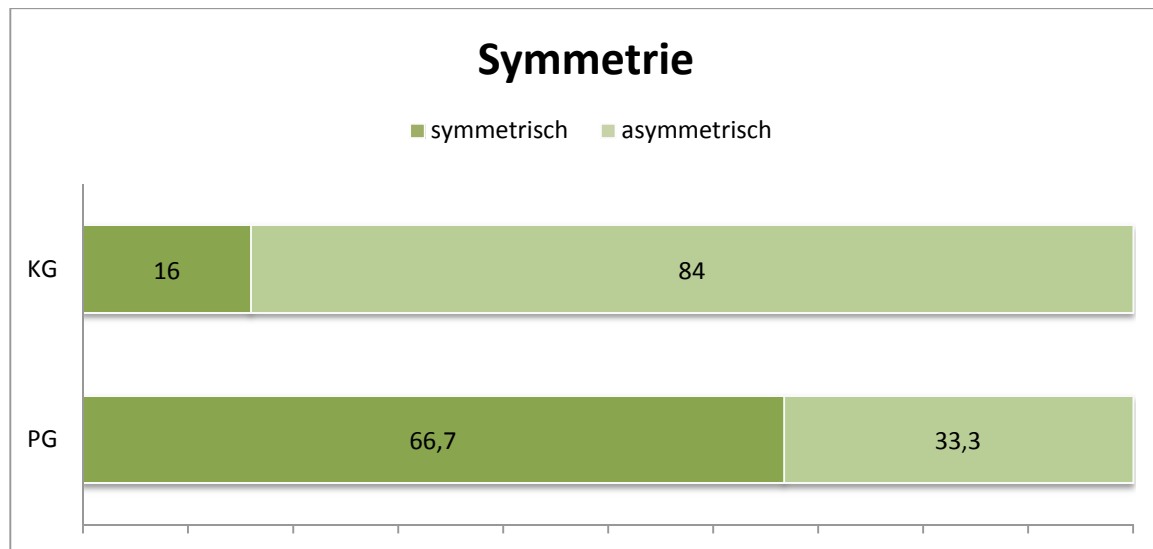


Abbildung 16 - Symmetrie der Ligg. alaria

5.2 Fragebögen innerhalb der Patientengruppe

5.2.1 NPAD

Alle Teilnehmer der PG beantworteten die Fragen des Neck Pain and Disability Scale nach Wheeler, um die aktuellen Beschwerden erfassen zu können (Wheeler et al. 1999). Es ergab sich ein Mittelwert des NPAD von 21 innerhalb der Patientengruppe (Min 0; Max 65; Median 21; SD 19,5). (vgl. Tabelle 17)

Beim Vergleich der Werte des NPAD mit den Ergebnissen der MR-Morphologie konnten trotz einiger Tendenzen aufgrund der insgesamt geringen Probandenzahl keine signifikanten Unterschiede gefunden werden.

Tabelle 17 - MR-Morphologie in Korrelation zu den Werten im NPAD

Merkmal	Ausprägung	Mittelwert des NPAD	Anzahl	Standardabweichung	Signifikanz
Detektierbarkeit rechts	glatt	22,09	35	19,851	0,246
	unscharf	11,50	4	14,640	
Detektierbarkeit links	glatt	22,65	34	19,866	0,152
	unscharf	9,80	5	13,236	
Signalintensität rechts	hypointens	21,24	38	19,701	0,656
	isointens	12,00	1		
Signalintensität links	hypointens	21,24	38	19,701	0,656
	isointens	12,00	1		
Homogenität rechts	homogen	22,94	18	19,780	0,413
	inhomogen	19,33	21	19,579	
Homogenität links	homogen	27,06	18	22,597	0,180
	inhomogen	15,81	21	15,062	
Form rechts	konvergent	20,38	26	19,627	0,720
	parallel	22,23	13	19,967	

Form links	konvergent	21,88	26	20,210	0,788
	parallel	19,23	13	18,647	
Orientierung rechts	kranial	18,08	13	18,035	0,511
	horizontal	22,46	26	20,371	
Orientierung links	kranial	16,07	15	17,523	0,235
	horizontal	24,08	24	20,379	
Symmetrie	symmetrisch	22,19	26	18,577	0,403
	asymmetrisch	18,62	13	21,804	

5.2.2 Symptome nach Schleudertrauma

Die Teilnehmer der PG wurden bzgl. ihrer Beschwerden nach dem Schleudertrauma und im Verlauf des darauffolgenden halben Jahres befragt.

Die am häufigsten angegebenen Beschwerden waren occipitaler Kopfschmerz bei 71,8%, allgemeiner Kopfschmerz bei 66,7% und Steifheit der HWS-Region bei 51,3% der Patienten. Bewegungseinschränkungen im cervicalen Bereich traten in Form von Rotationseinschränkungen bei 28,2% und Flexions/Extensionseinschränkungen bei 15,4% auf. Es wurden auch eine Vielzahl anderer Beschwerden, wie z. B. eine Radikulärsymptomatik (28,2%), Schwindel (25,6%), Müdigkeit (15,4%), Parästhesien (12,8%), Konzentrationsverlust (10,3%), Hörstörungen (5,1%), Störungen des Kurzzeitgedächtnisses (5,1%) und Persönlichkeitsveränderungen (2,6%) beschrieben. Wortfindungsstörungen (2,6%) und andere neurologische Defizite (2,6%) traten erst im Verlauf auf. (vgl. Tabelle 18 und Abbildung 17)

Tabelle 18 – Verlauf der Symptome nach stattgehabtem Schleudertrauma, Vgl. Symptome des Schleudertraumas nach Ronnen et al. 1996

Symptom	Unfalltag		1 Woche nach Unfall		6 Monate nach Unfall	
	Anzahl (n)	Prozent (%)	Anzahl (n)	Prozent (%)	Anzahl (n)	Prozent (%)
Occipitaler Kopfschmerz	28	71,8	23	59	17	43,6
Kopfschmerzen	26	66,7	21	53,8	13	33,3
Steifheit der HWS	20	51,3	16	41	11	28,2
Rotationseinschränkung	11	28,2	7	17,9	3	7,7
Flexions-/ Extensionseinschränkungen	6	15,4	4	10,3	0	0
Radikulärsymptomatik	11	28,2	11	28,2	10	25,6
Schwindel	10	25,6	11	28,2	6	15,4
Müdigkeit	6	15,4	8	20,5	8	20,5

Parästhesien	5	12,8	7	17,9	8	20,5
Konzentrationsverlust	4	10,3	2	5,1	2	5,1
Hörstörungen	2	5,1	2	5,1	2	5,1
Kurzzeitgedächtnisstörungen	2	5,1	1	2,6	1	2,6
Persönlichkeitsveränderungen	1	2,6	2	5,1	2	5,1
Wortfindungsstörungen	0	0	1	2,6	1	2,6
Andere neurologische Defizite	0	0	0	0	1	2,6

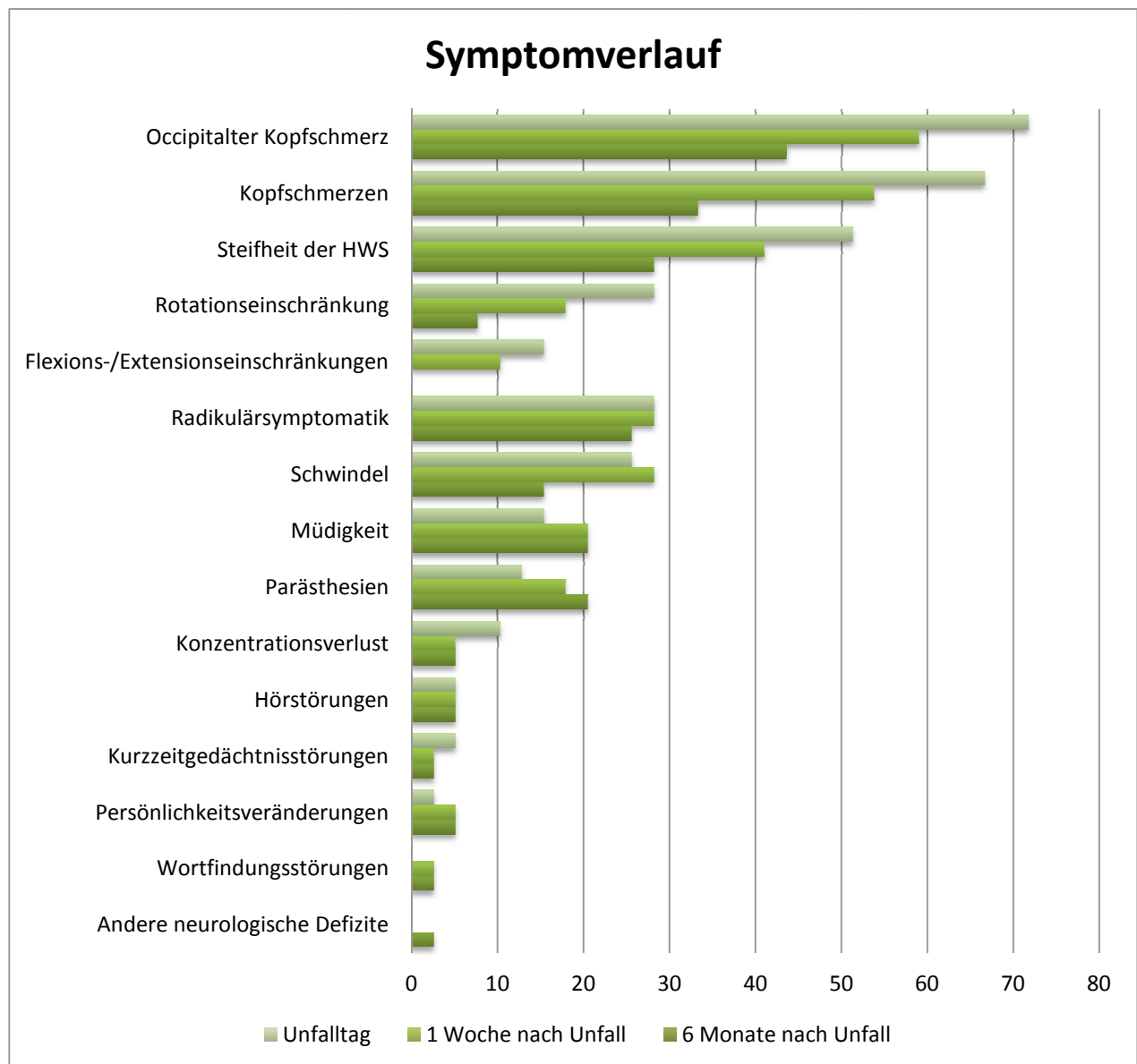


Abbildung 17- Verlauf der Symptome nach stattgehabtem Schleudertrauma

Wenn man die Anzahl der verschiedenen Beschwerden nach dem Unfall betrachtet, so ergibt sich für den Unfalltag ein Mittelwert von 3,38 verschiedenen Symptomen pro Patient (Min 0; Max 9; Median 3; SD 2,413). Im Vergleich hierzu gaben die Probanden für den zweiten Zeitpunkt eine Woche nach dem Unfall nur noch einen Mittelwert von 2,97 (Min 0; Max 8; Median 3; SD 2,433) und für den dritten Zeitpunkt sechs Monate nach dem Unfall von 2,18 (Min 0; Max 6; Median 1; SD 2,281) an. Es ergibt sich beim Vergleich der einzelnen Zeitpunkte ein signifikanter Unterschied sowohl zwischen den Beschwerden am Unfalltag und sechs Monate nach dem Unfall ($p=0,006$) als auch zwischen den angegebenen Symptomen eine Woche nach dem Unfall und sechs Monate nach dem Unfall ($p=0,001$). (vgl. Tabelle 19)

Tabelle 19 - Anzahl der Beschwerden am Unfalltag, 1 Woche nach Unfall und 6 Monate nach Unfall

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Unfalltag	39	0	9	3,38	3	2,413
1 Woche nach Unfall	39	0	8	2,97	3	2,433
6 Monate nach Unfall	39	0	6	2,18	1	2,281

6 Diskussion

6.1 Inhaltliche Diskussion

6.1.1 Stichprobe

Die Patienten- und die Kontrollgruppe unterschieden sich nicht bzgl. Alter oder Geschlecht. Die Kontrollgruppe war aus einem Pool von 107 Freiwilligen entsprechend der beiden Parameter zufällig an die Patientengruppe angepasst worden.

Dieser Vorgang des Gruppen-Matching kann selbst bereits Fehler beinhalten. Es waren 50 Kontrollen ausgewählt worden, die ursprünglich auch mit 50 Patienten verglichen werden sollten. So hatten auch Pfirrmann et al. ihre Studie an 50 Probanden durchgeführt (Pfirrmann et al. 2001).

Die Patientengruppe unserer Studie umfasste 39 Personen. Von den insgesamt 212 sowohl schriftlich als auch telefonisch zur Mitarbeit kontaktieren Patienten erklärten sich nur 42 bereit, an der Studie teilzunehmen. Die Messung konnte dann an 39 Personen in vollem Umfang durchgeführt werden.

Die geringe Bereitschaft zur Mitarbeit lässt sich durch verschiedene Faktoren erklären. Als autobahnnahes Universitätsklinikum behandeln wir viele Patienten, die auf der Durchreise verunfallen und somit auch für die Untersuchungen im Rahmen dieser Studie eine sehr weite Anreise benötigt hätten.

Viele der kontaktierten Personen berichteten auch von Platzangst oder lehnten die MRT als Untersuchungsmethode ab. Eine weitere mögliche Erklärung für die nur geringe Patientenzahl ist die begrenzte Terminverfügbarkeit am Forschungs-MRT, da dieses für verschiedene Forschungsprojekte intensiv genutzt wird. Gerade Berufstätige verloren deshalb nach mehreren Versuchen der Absprache schnell das Interesse an der Studie.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine solche Studie über einen deutlich größeren Zeitraum, wie auch in der „Bergener Arbeitsgruppe“ dargestellt wurde, geplant werden müsste (Krakenes et al. 2001). So sollte einem Patienten nach einem entsprechenden Unfall beim ersten Kontakt in der Notaufnahme neben Informationen über seine Verletzung auch entsprechende Fragebögen ausgehändigt werden. Somit wäre eine frühere Bindung möglicher Studienteilnehmer möglich, und Probleme der Erreichbarkeit der Patienten, wie sie in dieser Studie auftraten, ließen sich leichter

vermeiden. Wenn den Patienten noch eine entsprechende Aufwandsentschädigung für die entstehenden Fahrtkosten in Aussicht gestellt würde, könnte man in einer künftigen Studie wahrscheinlich eine deutlich größere Patientengruppe untersuchen.

6.1.2 Hypothese 1

Hypothese 1: In der MRT mit einer Magnetfeldstärke von 3 Tesla und der von uns genutzten SPACE-Sequenz sind die Ligg. alaria bei allen Patienten zu detektieren.

Diese Hypothese konnte bestätigt werden. Die Ligg. alaria waren sowohl in der Patienten- als auch der Kontrollgruppe in allen Fällen detektierbar. Zu einem Großteil waren sie nicht nur unscharf zu erkennen, sondern glatt abgebildet (über 80%).

Dies entspricht den Ergebnissen der Arbeiten von Krakenes et al, Kim et al. sowie Wilmlink und Patijn., die allerdings andere MRT-Sequenzen genutzt hatten (Krakenes et al. 2001, Wilmlink und Patijn 2001, Kim et al. 2002). Im Rahmen unserer Studie konnte dies nun auch erstmalig für eine SPACE-Sequenz bei einer MRT mit 3 Tesla nachgewiesen werden.

6.1.3 Hypothese 2

Hypothese 2: Es besteht ein Unterschied der MRT-Befunde des kraniozervikalen Überganges zwischen Patienten mit stattgehabtem Schleudertrauma und gesunden Probanden.

Diese Hypothese konnte teilweise bestätigt werden. Die einzelnen Unterhypothesen und ihre Belege sollen im folgenden Abschnitt einzeln erläutert werden.

Hypothese 2a: Die Ligg. alaria der beiden Gruppen unterscheiden sich bzgl. ihrer Signalintensität.

Diese Hypothese konnte zum Teil bestätigt werden. Es zeigte sich, dass die Ligg. alaria sowohl in der Patienten- als auch der Kontrollgruppe zum Großteil als hypointens im Vergleich zur umgebenden Muskulatur klassifiziert wurde. Innerhalb der Patientengruppe fiel diese Verschiebung in Richtung hypointenser Bänder mit 97,4%

jedoch deutlich stärker als in der Kontrollgruppe mit 80% bzw. 84% aus. Hyperintense Bänder fanden wir nur innerhalb der Kontrollgruppe bei 14% bzw. 18% der MRT-Aufnahmen.

Es scheint, als wären die Ligg. alaria nach stattgehabtem Schleudertrauma geringer in ihrer Intensität. Auch statistisch ließ sich dies, zumindest für die Werte des rechten Lig. alare, nachweisen ($p=0,02$). Die im Vergleich zum Normalkollektiv in unserer Studie etwas geringere Signalintensität lässt sich nur schwer durch das Trauma erklären, da Banddistorsionen und die sich dadurch ausbildenden Ödeme sowie Narben in der MRT-Bildgebung zu einer erhöhten Intensität der Ligg. alaria führen müssten. Vielleicht sind sie ein Ausdruck von Normvarianten, die aufgrund der kleinen Stichprobe zu scheinbaren Auffälligkeiten geführt haben.

Die Arbeiten von Krakenes et al. sowie Volle und Montazem zeigten im Gegensatz zu unseren Ergebnissen die bei einer Distorsion zu erwartende erhöhte Signalintensität der Flügelbänder bei Patienten im Langzeitverlauf nach einem Schleudertrauma (Volle und Montazem 1997, Krakenes et al. 2002). Von beiden Autoren wurden Klassifikationen für die beobachteten Veränderungen der Bänder vorgeschlagen.

In den Studien von Ronnen et al., Castro et al. sowie Wilmink und Patijn konnten mittels MRT keine signifikant anderen Bandintensitäten als in den jeweiligen Kontrollgruppen nachgewiesen werden (Ronnen et al. 1996, Castro et al. 1997, Wilmink und Patijn 2001). Die Autoren hatten jedoch stets Patienten kurz nach dem Unfall und nicht erst Jahre nach dem Unfall untersucht.

Zusammenfassend scheint es Unterschiede der Intensität der Ligg. alaria zwischen Gesunden und Patienten im Langzeitverlauf nach Schleudertrauma zu geben, die mit einer SPACE-Sequenz nachgewiesen werden können.

Hypothese 2b: Es findet sich eine unterschiedliche Homogenität der Flügelbänder der beiden Gruppen.

Diese Hypothese konnte nicht untermauert werden. Sowohl in der Patienten- als auch der Kontrollgruppe fanden sich in nahezu der Hälfte der MRT-Aufnahmen homogene Ligg. alaria. Es war kein statistischer Unterschied nachweisbar.

Dieses Ergebnis steht etwas im Gegensatz zu den von Krakenes et al. publizierten Daten (Krakenes et al. 2002). Die Autoren hatten Unterschiede der Homogenität der Bänder festgestellt und diese in ihre Klassifikation der Bandläsionen einfließen lassen.

Vielleicht sind diese unterschiedlichen Ergebnisse auf die in den Studien genutzten Magnetfeldstärken und Sequenzen zurückzuführen.

Hypothese 2c: Die Ligg. alaria der beiden Gruppen weisen eine unterschiedliche Form auf.

Diese Hypothese konnte nicht bestätigt werden. Es zeigten sich in beiden Gruppen mehr konvergent als parallel geformte Ligg. alaria, wobei das Verhältnis zwischen den beiden Typen etwa 2:1 betrug. Es fanden sich keine vom Dens aus divergierenden Verläufe. Ein statistischer Unterschied zwischen den beiden Gruppen ließ sich nicht nachweisen.

Somit waren die Ligg. alaria bei $\frac{2}{3}$ der Probanden im Bereich ihrer Ansätze an den Kondylen am dünnsten. Dies könnte eine Erklärung für die Untersuchungen von Krakenes et al. darstellen, die die meisten Bandläsionen genau in diesem Ansatzbereich fanden (Krakenes et al. 2002).

Hypothese 2d: Es zeigt sich beim Vergleich der MRT-Aufnahmen der beiden Patientengruppen eine unterschiedliche Orientierung der Flügelbänder.

Diese Hypothese konnte nicht bestätigt werden. Innerhalb der Patientengruppe wurden 61,5% bzw. 66,7% horizontale, jedoch keine kaudalen Bandverläufe festgestellt. Die MRT-Aufnahmen innerhalb der Kontrollgruppe erbrachten 48% bzw. 60% horizontale und im Gegensatz zur Patientengruppe 4% bzw. 6% kaudale Bandverläufe. Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen konnte nicht gefunden werden.

Eine ähnliche Verteilung des Bandverlaufes der Ligg. alaria konnten auch Krakenes et al 2001 nachweisen. Sie fanden 73% horizontale, 17% kraniale und 10% kaudale Orientierungen der Flügelbänder (Krakenes et al. 2001).

Beim horizontalen Bandverlauf scheint es sich entsprechend dieser Ergebnisse also am ehesten um die anatomische Normvariante zu handeln.

Hypothese 2e: Die beiden Gruppen unterscheiden sich bzgl. der Symmetrie des kraniozervikalen Bandapparates.

Diese Hypothese konnte bestätigt werden. Die Konfiguration der Ligg. alaria wurde in der Patientengruppe zu 66,7%, in der Kontrollgruppe aber nur zu 16% als symmetrisch eingestuft. In der statistischen Auswertung ergab sich ein signifikanter Unterschied ($p < 0,01$).

Eine Vielzahl an asymmetrischen Ligg. alaria konnten auch Pfirrmann et al. in ihrer Studie aus dem Jahre 2001 nachweisen (Pfirrmann et al. 2001). Sie fanden in 88% der Fälle eine asymmetrische Bandanordnung bei Gesunden. In der Literatur konnte keine Darstellung zur Symmetrie des kraniozervikalen Überganges bei Patienten nach stattgehabtem Schleudertrauma gefunden werden.

Es lässt sich somit festhalten, dass auch andere Studien zeigten, dass eine asymmetrische Bandkonfiguration des kraniozervikalen Überganges als Normalbefund anzusehen ist. Die festgestellten deutlichen Unterschiede zur Bandanordnung bei Patienten nach Schleudertrauma lassen sich anhand des Unfalles und einer möglichen Bandschädigung nur schwer erklären.

Es könnte im Rahmen des Unfalles zu partiellen Rupturen bzw. Elongationen der Ligg. alaria kommen. Aufgrund der häufig asymmetrischen Bandanordnung wäre bei gerade wirkendem Kraftvektor dann eines der beiden Bänder stärker betroffen als das andere. Dies könnte über sekundäre Reparaturprozesse und Vernarbungen zu einer veränderten Bandlänge und damit Ausrichtung führen. Auch Veränderungen der Kollagenstrukturen der anderen beteiligten Gelenk- und Kapselapparate haben einen Einfluss auf die Stellung im kraniozervikalen Übergang. Entsprechende Veränderungen der Kapselstrukturen nach Trauma konnten an Leichenpräparaten nachgewiesen werden (Tominaga et al. 2006, Quinn et al. 2007).

Eine andere mögliche Erklärung ist ein muskulärer Kompensationsmechanismus nach dem Trauma, der aufgrund der vom Patienten empfundenen Beschwerden und auch Instabilität zu einer Erhöhung des Tonus der Nackenmuskulatur führt. Dieser hätte dann eine veränderte Ausrichtung der Gelenke des kraniozervikalen Überganges zur Folge.

6.1.4 Hypothese 3

Hypothese 3: Es besteht ein Zusammenhang zwischen den von den Patienten im Neck Pain and Disability Scale angegebenen Beschwerden zum Untersuchungszeitpunkt und den MRT-Befunden.

In den Untersuchungen fanden sich Ergebnisse im NPAD von 0 bis 65, wobei sich ein Mittelwert von 21 ergab.

Bei der Auswertung von Hypothese 2 konnten zwei signifikante Ergebnisse festgestellt werden. Zum einen sind die Ligg. alaria nach Schleudertrauma eher hypointens und zum anderen zeigte sich in der Patientengruppe eine höhere Symmetrie. Bei der Betrachtung der entsprechenden NPAD-Werte fand sich bei hypointensen Bändern ein Wert von 21,24 im Gegensatz zu 12 bei isointensen Ligg. alaria. Bei einer symmetrischen Bandkonfiguration ergab sich ein Wert von 22,19 und bei asymmetrischen von 18,62.

Statistisch signifikante Unterschiede konnten nicht nachgewiesen werden. Eine mögliche Ursache hierfür kann die relativ geringe Patientenzahl der Stichprobe sein. Die oben dargestellten Tendenzen sollten aber im Rahmen einer größeren Studie genauer untersucht werden.

6.1.5 Hypothese 4

Hypothese 4:

Bei den sich im Langzeitverlauf nach dem Unfall verändernden Beschwerden der Patienten dominieren die neurologischen.

Die Patienten nach Schleudertrauma gaben infolge des Schleudertraumas die folgenden Beschwerden in absteigender Reihenfolge an: occipitale Kopfschmerzen, Kopfschmerzen, Steifheit der Halswirbelsäule, Rotationseinschränkungen, Einschränkungen der Flexion und Extension, eine Radikulärsymptomatik, Schwindel, Müdigkeit, Parästhesien, Konzentrationsverlust, Hörstörungen, Störungen des Kurzzeitgedächtnisses, Persönlichkeitsveränderungen, Wortfindungsstörungen und andere neurologische Störungen an. Es ergab sich hierbei eine ähnliche Häufigkeitsverteilung, wie sie auch Ronnen et al. nachweisen konnten (Ronnen et al. 1996).

Es wurden auch die Beschwerden eine Woche nach Ablauf des Unfalles und nach sechs Monaten erfragt. Es zeigte sich, dass die Zahl der Beschwerden im Verlauf des Zeitraumes signifikant von 3,38 auf 2,18 Symptome pro Patient abnahm. Auffällig war dabei in der Untersuchung, dass sich die Anzahl der geäußerten Schmerzsymptome und Bewegungseinschränkungen verringerte, demgegenüber aber Beschwerden wie Müdigkeit und Schwindel stagnierten und andere neurologische Symptome sogar vermehrt auftraten.

Es zeigt sich somit, dass besonders diese schwer objektivierbaren Beschwerden als langandauernd anzusehen sind. Dies könnte Folge der übermäßigen Information und veranlassten Diagnostik sein, die einer häufig harmlosen Verletzung einen hohen Krankheitswert beimessen (Castro et al. 2001, Buitenhuis et al. 2008). Hierdurch interpretiert der Patient nach Abklingen der akuten Symptome der Halswirbelsäulendistorsion in alle als nicht normal empfundenen Beschwerden die Folgen des Unfalles hinein. Auf diese Weise kann durch soziokulturelle Faktoren die Entstehung einer somatoformen Störung unterstützt werden und der Patient zudem einen stärkeren sekundären Krankheitsgewinn erzielen.

6.2 Methodische Diskussion

In der Studie sollten die morphologischen Unterschiede im Bereich des kraniozervikalen Überganges zwischen Gesunden und Patienten nach Schleudertrauma evaluiert werden. Die Studie weist einige Einschränkungen auf, welche im folgenden Abschnitt näher beleuchtet werden sollen.

Wie bereits am Anfang der inhaltlichen Diskussion erläutert, sollten entsprechend der Größe der Studie von Pfirrmann eigentlich 50 Gesunde mit 50 Patienten nach stattgehabtem Schleudertrauma verglichen werden (Pfirrmann et al. 2001). Die Ursachen für die geringere Zahl von nur 39 Patienten wurden bereits ausführlich dargestellt. Eine größere Stichprobe hätte möglicherweise bei einigen der vorliegenden Tendenzen zu signifikanten Ergebnissen geführt.

Wir waren bei der Akquirierung der Patientengruppe auf freiwillige Mitarbeit angewiesen. Dies erschwerte die Randomisierung der beiden Gruppen. Zudem ist davon auszugehen, dass im Rahmen einer freiwilligen Mitarbeit eher Patienten mit starken Beschwerden und hoher Krankheitsfixierung an einer Studie teilnehmen und sich somit fehlerhafte Ergebnisse im Sinne eines Selektionsbias ergeben. Dies könnte wahrscheinlich nur durch eine entsprechende Aufwandsentschädigung für die Teilnehmer verhindert werden.

Positiv hervorzuheben ist, dass in der angewandten SPACE-Sequenz mit 3 Tesla durch beide Observer alle Ligg. alaria identifiziert werden konnten und sich bei allen Items gute bis sehr gute Ergebnisse im Kappa-Test bzgl. der Interrater-Reliabilität ergaben.

Aufgrund des retrospektiven Studiendesigns konnten die Beschwerden der Patienten und deren Verlauf nur durch Befragung zum Untersuchungszeitpunkt erfasst werden. Diese können somit durch die Erinnerungen der Patienten verfälscht sein, was einem Recall-Bias entspräche. Dementsprechend sollten künftige Studien eher ein prospektives Design aufweisen was, wie oben dargestellt, auch die Patientenakquirierung erleichtern würde.

7 Schlussfolgerung

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass sich Unterschiede des kraniozervikalen Überganges zwischen Gesunden und Patienten mit stattgehabtem Schleudertrauma mit einer MRT unter Nutzung einer SPACE-Sequenz bei einer Feldstärke von 3 Tesla nachweisen lassen. Die Ligg. alaria können mit der angewandten Technik bei allen Patienten sicher identifiziert werden und stellen sich in einem Großteil der Fälle auch als scharf zur Umgebung abgrenzbar dar. Die Interrater-Reliabilität war in allen Fällen hoch.

Die Ergebnisse der Studie haben erneut die große Varianz des kraniozervikalen Überganges bei Gesunden gezeigt. Es konnten signifikante Unterschiede zu Patienten nach stattgehabtem Schleudertrauma gefunden werden. Die Ergebnisse waren aber anders als erwartet. Normalerweise stellen sich Bänder nach Distorsionen aufgrund ödematöser und narbiger Veränderung hyperintens in der MRT dar; das Gegenteil war aber in unserer Studie der Fall. Auch die nach einem Schleudertrauma scheinbar erhöhte Symmetrie des kraniozervikalen Überganges lässt sich nur schwer durch eine Schädigung begründen. Aufgrund dieser zum Teil pathophysiologisch nur schwer erklärbaren Ergebnisse und deren deutliche Unterschieden zu anderen Studien stellen diese keinen MR-tomografischen Nachweis des Schleudertraumas dar. Die gefundenen Unterschiede sind als Ausdruck der großen Varianz in der Normalbevölkerung zu werten. Einen Beweis einer Schädigung der ligamentären Strukturen des kraniozervikalen Überganges stellen sie nicht dar.

Es handelt sich bei der Pathophysiologie des Schleudertraumas letztlich um ein multifaktorielles Geschehen, bei dem sowohl leichte somatische Schädigungen als auch deren Verarbeitung durch den Patienten und dessen psychologischer und soziokultureller Hintergrund eine Rolle spielen. Die Aufgabe des Arztes besteht darin, in der Anfangsphase schwere Verletzungen zu erkennen und auszuschließen, die initialen Befunde adäquat zu erheben und dem Patienten durch eine ausführliche Aufklärung die Angst vor den möglichen chronischen Folgen zu nehmen. Eine MRT-Diagnostik ist bei entsprechenden spezifischen Fragestellungen sinnvoll, jedoch nicht als Standarddiagnostik für alle Patienten nach Schleudertraumen geeignet, da eine große Varianz des kraniozervikalen Überganges innerhalb der Normalbevölkerung besteht.

8 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Baumert B, Wörtler K, Steffinger D, Schmidt GP, Reiser M, Baur-Melnyk. 2009. Assessment of the internal craniocervical ligaments with a new magnetic resonance imaging sequence: three-dimensional turbo spin echo with variable flip-angle distribution (SPACE). *Magn Reson Imaging* 27(7): 954-960.
- Bitterling H, Stäbler A, Brückmann H. 2007. Mystery of alar ligament rupture: value of MRI in whiplash injuries--biomechanical, anatomical and clinical studies. *Rofo* 179(11): 1127-1136.
- Boden SD, McCowin PR, Davis DO, Dina TS, Mark AS, Wiesel S. 1990. Abnormal magnetic-resonance scans of the cervical spine in asymptomatic subjects. A prospective investigation. *J Bone Joint Surg Am* 72(8): 1178-1184.
- Brault JR, Wheeler JB, Siegmund GP, Brault EJ. 1998. Clinical response of human subjects to rear-end automobile collisions. *Arch Phys Med Rehabil* 79(1): 72-80.
- Buitenhuis J, de Jong PJ, Jaspers JPC, Groothoff JW. 2008. Catastrophizing and causal beliefs in whiplash. *Spine* 33(22): 2427-2434.
- Bylund PO und Björnstig U. 1998. Sick leave and disability pension among passenger car occupants injured in urban traffic. *Spine* 23(9): 1023-1028.
- Castro WHM, Schilgen M, Meyer S, Weber M, Peuker C, Wörtler K. 1997. Do "whiplash injuries" occur in low-speed rear impacts? *Eur Spine J* 6(6): 366-375.
- Castro WHM, Lemcke H, Schilgen M, Lemcke L. 1998. So-called "whiplash trauma"--legal and medical considerations. *Chirurg* 69(6): 176-184.
- Castro WHM, Meyer SJ, Becke MER, Nentwig CG, Hein MF, Ercan BI, Thomann S, Wessels U, du Chesne AE. 2001. No stress--no whiplash? Prevalence of "whiplash" symptoms following exposure to a placebo rear-end collision. *Int J Legal Med* 114(6): 316-322.

- Centeno CJ, Elkins W, Freeman M, Elliott J, Sterling M, Katz E. 2007. Total cervical translation as a function of impact vector as measured by flexion-extension radiography. *Pain Physician* 10(5): 667-671.
- Chen HB, Yang KH, Wang ZG. 2009. Biomechanics of whiplash injury. *Chin J Traumatol* 12(5): 305-314.
- Cohen J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*. 20(1): 37-46.
- Crowe H. 1964. A new diagnostic sign in neck injuries. *Calif Med*. 100(1): 12-13.
- Deutscher Verkehrssicherheitsrat, Hrsg 2011. Jahresbericht 2010. Bonn, Deutscher Verkehrssicherheitsrat e. V. (DVR): 42.
- Ferrari R, Russel AS, Richter M. 2001. Epidemiologie der HWS-Beschleunigungsverletzung. Ein internationales Dilemma. *Orthopäde*. 30(8): 551-558.
- Ferrari R. und Lang C. 2005. A cross-cultural comparison between Canada and Germany of symptom expectation for whiplash injury. *J Spinal Disord Tech* 18(1): 92-97.
- Fritzsche M. 1997. Dokumentation des Bewegungsablaufes bei der ergokinetischen Untersuchung. *Manuelle Medizin*. 35(3): 136-140.
- Gay JR und Abbott KH. 1953. Common whiplash injuries of the neck. *J Am Med Assoc* 152(18): 1698-1704.
- Hartwig E, Kettler A, Schultheiß M, Kinzl L, Claes L, Wickle H-J. 2004. In vitro low-speed side collisions cause injury to the lower cervical spine but do not damage alar ligaments. *Eur Spine J* 13(7): 590-597.
- Helliwell PS, Evans PF, Wright V. 1994. The straight cervical spine: does it indicate muscle spasm? *J Bone Joint Surg Br* 76(1): 103-106.
- Hinz P. 1970. Die Verletzung der Halswirbelsäule durch Schleuderung und Abknickung, Stuttgart: Hippokrates-Verlag.

- Hinz P und Plaue R. 1972. Die Begutachtung von Schleuder- und Abknickverletzungen der Halswirbelsäule, Stuttgart: Thieme-Verlag.
- Hülse M und Hölzl M. 2000. Vestibulospinale Reaktionen bei der zervikogenen Gleichgewichtsstörung. Die zervikogene Unsicherheit. HNO. 48(4): 295-301.
- Ivancic PC, Ito S, Tominaga Y, rubin W, Coe MP, Ndu AB, Carlson EJ, Panjabi MM. 2008. Whiplash causes increased laxity of cervical capsular ligament. Clin Biomech (Bristol, Avon) 23(2): 159-165.
- Kaale BR, Krakenes J, Albrektsen G, Wester K. 2005. Head position and impact direction in whiplash injuries: associations with MRI-verified lesions of ligaments and membranes in the upper cervical spine. J Neurotrauma 22(11): 1294-1302.
- Kaale BR, Krakenes J, Albrektsen G, Wester K. 2005. Whiplash-associated disorders impairment rating: neck disability index score according to severity of MRI findings of ligaments and membranes in the upper cervical spine. J Neurotrauma 22(4): 466-475.
- Kaale BR, Krakenes J, Albrektsen G, Wester K. 2007. Active range of motion as an indicator for ligament and membrane lesions in the upper cervical spine after a whiplash trauma. J Neurotrauma 24(4): 713-721.
- Kaale BR, Krakenes J, Albrektsen G, Wester K. 2007. Clinical assessment techniques for detecting ligament and membrane injuries in the upper cervical spine region-A comparison with MRI results. Man Ther 13: 397-403.
- Kim HJ, Jun BY, Kim WH, Cho YK, Lim MK, Suh CH. 2002. MR imaging of the alar ligament: morphologic changes during axial rotation of the head in asymptomatic young adults. Skeletal Radiol 31(11): 637-642.
- Knackstedt H, Krakenes J, Bansevicius D, Russell MB. 2011. Magnetic resonance imaging of craniovertebral structures: clinical significance in cervicogenic headaches. J Headache Pain 13(1): 39-44.

- Krakenes J, Kaale BR, Rorvik J, Gilhus NE. 2001. MRI assessment of normal ligamentous structures in the craniovertebral junction. *Neuroradiology* 43(12): 1089-1097.
- Krakenes J, Kaale BR, Moen G, Nordli H, Gilhus NE, Rorvik J. 2002. MRI assessment of the alar ligaments in the late stage of whiplash injury--a study of structural abnormalities and observer agreement. *Neuroradiology* 44(7): 617-624.
- Krakenes J und Kaale BR. 2006. Magnetic resonance imaging assessment of craniovertebral ligaments and membranes after whiplash trauma. *Spine* 31(24): 2820-2826.
- Landis JR und Koch GG. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 33: 159-174.
- Lang CJG, Grifka J, Jörg J, Keidel M, Köllner M, Mokrusch T, Oder W, Stöckli HR, Stoll W, Weise K. 2008. Beschleunigungstrauma der Halswirbelsäule. Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie. 4.
- Maak TG, Tominaga Y, Panjabi MM, Ivancic PC. 2006. Alar, transverse, and apical ligament strain due to head-turned rear impact. *Spine* 31(6): 632-638.
- Malleson A. 2002. Whiplash and other usefull illnesses, Montreal: Mcgill-Queen's University Press.
- McClune T, Burton AK, Waddell G. 2002. Whiplash associated disorders: a review of the literature to guide patient information and advice. *Emerg Med J* 19(6): 499-506.
- Montazem A. 1999. Auswirkung eines Schleudertraumas auf die oberen Halswirbel einhergehend mit Instabilität am craniocervikalen Übergang und deren Folgen sowie Behandlungsmöglichkeiten. Schriftenreihe der Sozialversicherung Landesversicherungsanstalt Baden-Württemberg 18: 38-43.
- Muhle C, Brossmann J, Biederer J, Jahnke T, Grimm J, Heller M. 2002. Alar ligaments: radiological aspects in the diagnosis of patients with whiplash injuries. *Rofo* 174(4): 416-422.

- Neuhuber WL und Bankoul S. 1994. Besonderheiten der Innervation des Kopf-Halsübergangs. Orthopäde. 23: 256-261.
- Neuhuber WL und Bankoul S. 1998. Besonderheiten der Innervation des Kopf-Hals-Bereiches. Orthopäde. 27: 794-801.
- Obelieniene D, Schrader H, Bovim G, Miseviciene I Sand T. 1999. Pain after whiplash: a prospective controlled inception cohort study. J Neurol Neurosurg Psychiatry 66(3): 279-283.
- Obernauer S, Herold T, Fischer U, Fadjasch G, Koebke J, Grabbe E, Saternus K-S. 1999. Evaluation experimentell erzeugter Verletzungen der oberen Halswirbelsäule mit digitaler Röntgentechnik, Computertomographie und Magnetresonanztomographie. Fortschr Röntgenstr 171(6): 473-479.
- Panjabi MM, Cholewicki J, Nibu K, Grauer JN, Babat LB, Dvorak J. 1998. Mechanism of whiplash injury. Clin Biomech (Bristol, Avon) 13(4-5): 239-249.
- Pfirrmann CWA, Binkert CA, Zanetti M, Boos N, Hodler J. 2001. MR morphology of alar ligaments and occipitoatlantoaxial joints: study in 50 asymptomatic subjects. Radiology 218(1): 133-137.
- Poeck K. 2002. Zur neurologischen Begutachtung nach "HWS-Schleudertrauma". Akt Neurol, Georg Thieme Verlag Stuttgart. 29: 288-294.
- Quinn KP, Lee KE, Ahaghotu CC, Winkelstein BA. 2007. Structural changes in the cervical facet capsular ligament: potential contributions to pain following subfailure loading. Stapp Car Crash J 51: 169-187.
- Ronnen HR, de Korte PJ, Brink PRG, van der Bijl HJ, Tonino AJ, Franke CL. 1996. Acute whiplash injury: is there a role for MR imaging?--a prospective study of 100 patients. Radiology 201(1): 93-96.
- Roy S, Hol PK, Laerum LT, Tillung T. 2004. Pitfalls of magnetic resonance imaging of alar ligament. Neuroradiology 46(5): 392-398.

- Saternus K-S und Thrun C. 1987. Zur Traumatologie der Ligamenta alaria. *Akt Traumatol* 17: 214-8.
- Schröter F. 2010. Whiplash injury following minor accidents: construct or serious injury?. *Orthopade* 39(3): 276-284.
- Spitzer WO, Skovron ML, Salmi LR, Cassidy JD, Duranceau J, Suissa S, Zeiss E. 1995. Scientific monograph of the Quebec Task Force on Whiplash-Associated Disorders: redefining "whiplash" and its management. *Spine* 20(8): 1S-73S.
- Stemper BD, Yoganandan N, Pintar FA, Rao RD. 2006. Anterior longitudinal ligament injuries in whiplash may lead to cervical instability. *Med Eng Phys* 28(6): 515-524.
- Stiell IG, Wells GA, Vandemheen KL, Clement CM, Lesiuk H, de Maio VJ, Laupacis A, Schull M, McKnight RD, Verbeek R, Brison R, Cass D, Dreyer J, Eisenhauer MA, Greenberg GH, MacPhail I, Morrison L, Reardon M, Worthington J. 2001. The Canadian C-spine rule for radiography in alert and stable trauma patients. *JAMA* 286(15): 1841-1848.
- Thomann K-D und Rauschmann M. 2001. Begutachtungs- und Rehabilitationsprobleme bei Halswirbelsäulenschäden aus orthopädischer Sicht. *Med Sach.* 97: 86-96.
- Thomann K-D und Rauschmann M. 2003. Von der „railway spine“ zum Schleudertrauma – Geschichte und aktuelle Bedeutung seelischer Störungen nach entschädigungspflichtigen Ereignissen. *Zeitschrift für die gesamte Versicherungswissenschaft.* 92(3): 533-577.
- Tominaga Y, Ndu AB, Coe MP, Valenson AJ, Ivancic PC, Ito S, Rubin W, Panjabi MM. 2006. Neck ligament strength is decreased following whiplash trauma. *BMC Musculoskelet Disord* 7: 103.
- Vetti N, Krakenes J, Ask T, Erdal KA, Torkildsen MD, Rorvik J, Gilhus NE, Espeland A. 2011. Follow-Up MR Imaging of the Alar and Transverse Ligaments after Whiplash Injury: A Prospective Controlled Study. *AJNR Am J Neuroradiol* 32(10): 1836-41.

- Vetti N, Krakenes J, Damsgaard E, Rorvik J, Gilhus NE, Espeland A. 2011. Magnetic resonance imaging of the alar and transverse ligaments in acute whiplash-associated disorders 1 and 2: a cross-sectional controlled study. *Spine (Phila Pa 1976)* 36(6): E434-440.
- Volle E und Montazem A. 1997. Strukturdefekt der Ligamenta alaria in der offenen Funktions-Kernspintomographie. *Manuelle Medizin*. 35(4): 188-193.
- Wheeler AH, Goolkasian P, Baird AC, Darden BV. 1999. Development of the Neck Pain and Disability Scale. Item analysis, face, and criterion-related validity. *Spine* 24(13): 1290-1294.
- Wilmink JT und Patijn J. 2001. MR imaging of alar ligament in whiplash-associated disorders: an observer study. *Neuroradiology* 43(10): 859-863.

9 Anhang

9.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Whiplash associated disorders -----	7
Tabelle 2 - Anzahl der Gruppenteilnehmer -----	25
Tabelle 3 - Geschlechterverteilung innerhalb der Gruppen -----	26
Tabelle 4 - Kollisionstypen -----	27
Tabelle 5 - Detektierbarkeit der Ligg. alaria – Interobserververgleich -----	35
Tabelle 6 - Detektierbarkeit der Ligg. alaria - Vergleich KG und PG -----	36
Tabelle 7 - Signalintensität der Ligg. alaria - Interobserververgleich -----	37
Tabelle 8 - Signalintensität der Ligg. alaria - Vergleich KG und PG -----	38
Tabelle 9 - Homogenität der Ligg. alaria - Interobserververgleich -----	39
Tabelle 10 - Homogenität der Ligg. alaria - Vergleich KG und PG -----	40
Tabelle 11 - Form der Ligg. alaria - Interobserververgleich-----	41
Tabelle 12 - Form der Ligg. alaria - Vergleich KG und PG -----	42
Tabelle 13 - Orientierung der Ligg. alaria - Interobserververgleich -----	43
Tabelle 14 - Orientierung der Ligg. alaria - Vergleich KG und PG -----	44
Tabelle 15 - Symmetrie der Ligg. alaria - Interobserververgleich -----	45
Tabelle 16 - Symmetrie der Ligg. alaria - Vergleich KG und PG-----	45
Tabelle 17 - MR-Morphologie in Korrelation zu den Werten im NPAD -----	47
Tabelle 18 - Verlauf der Symptome nach stattgehabtem Schleudertrauma -----	49
Tabelle 19 - Anzahl der Beschwerden am Unfalltag, 1 Woche nach Unfall und 6 Monate nach Unfall -----	51

9.2 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1 - Canadian C-Spine Rule -----	13
Abbildung 2 - Übersicht über Patienteneinschluss-----	25
Abbildung 3 - Erfassung des Beschwerdeverlaufs-----	29
Abbildung 4 - Skizze der Detektierbarkeit -----	31
Abbildung 5 - Skizze der Signalintensität -----	31
Abbildung 6 - Skizze der Homogenität-----	31
Abbildung 7 - Skizze der Form-----	32
Abbildung 8 - Skizze der Orientierung -----	32
Abbildung 9 - Skizze der Symmetrie -----	32
Abbildung 10 - koronare MRT-Aufnahme der Ligg. alaria mit T2-gewichteter TSE SPACE-Sequenz -----	33
Abbildung 11 - Detektierbarkeit der Ligg. alaria -----	36
Abbildung 12 - Signalintensität der Ligg. alaria-----	38
Abbildung 13 - Homogenität der Ligg. alaria -----	40
Abbildung 14 - Form der Ligg. alaria -----	42
Abbildung 15 - Orientierung der Ligg. alaria -----	44
Abbildung 16 - Symmetrie der Ligg. alaria -----	46
Abbildung 17 - Verlauf der Symptome nach stattgehabtem Schleudertrauma-----	50

9.3 Einverständniserklärung

KLINIKUM DER FRIEDRICH-SCHILLER-UNIVERSITÄT JENA

Abteilung Neuroradiologie

Prof. Dr. med. Thomas Mayer



Einverständniserklärung

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die im Rahmen dieser Studie erhobene(n) Daten/Krankheitsdaten auf Fragebögen und elektronischen Datenträgern aufgezeichnet und ohne Namensnennung weitergegeben werden können.

Darüber, dass meine Teilnahme vollkommen freiwillig erfolgen soll und ich meine Einwilligung zur Teilnahme an dieser Studie jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne persönlichen Nachteil widerrufen kann, bin ich unterrichtet worden.

Sehr geehrte Damen und Herren,

Sie werden hiermit gebeten, sich an einer Studie des Instituts für Diagnostische und Interventionelle Radiologie der Uniklinik fern zu beteiligen. Es handelt sich hierbei um eine wissenschaftliche Untersuchung, welche die Bänder des Kopf-Hals-Überganges mittels Darstellung in einem 3-Tesla-MRT von Patienten mit stattgehabtem Schleudertrauma und Probanden ohne Schleudertrauma vergleicht.

Neben der eigentlichen MRT-Untersuchung werden wir Sie auch in einigen kurzen Fragebögen zu Ihren aktuellen Beschwerden und Vorerkrankungen befragen.

Alle Informationen werden durch uns anonym ausgewertet, so dass man aus den Fragebogen keine Rückschlüsse auf Ihre Person ziehen kann. Die Teilnahme ist freiwillig und Sie können jederzeit ohne Angaben von Gründen und ohne Nachteile für Ihre weitere Behandlung zurücktreten.

Wir bedanken uns für Ihren persönlichen Beitrag zur wissenschaftlichen Untersuchung im Voraus.

Mit freundlichen Grüßen

Name, Vorname

Geburtsdatum

Ort, Datum

Unterschrift

Prof. Dr. med. Thomas Mayer
Leiter AB Neuro radiologie

Dr. med. P. Schmidt
Oberarzt

W. Weschenfelder
Doktorand

9.4 Fragebögen

Patientennummer:
Geb.-Datum:
Geschlecht:

Untersuchungsdatum:

Datum des Unfalls:
Unfallhergang:

Stellung des Kopfes beim Aufprall:

Kam der Aufprall unerwartet?

Vorerkrankungen im Bereich der Wirbelsäule?

Symptome	Tag des Unfalles	1 Woche nach Unfall	6 Monate nach Unfall
Steifheit im Genick und der Interscapularregion			
Kopfschmerz			
Occipitaler Kopfschmerz			
Rotationsbeschränkungen			
Einschränkungen der Extension / Flexion			
Konzentrationsverlust			
Parästhesien in den Armen oder Händen			
Hörstörungen			
Schwindel			
Müdigkeit			
Störungen des Kurzzeitgedächtnisses			
Persönlichkeitsveränderungen			
Wachstumsstörungen			
Neurologische Defizite			
Radikularsymptomatik			

9.5 Tabellarischer Lebenslauf

Name: Wolfram Weschenfelder

Geburtsdatum: 27.12.1982

Geburtsort: Neuhaus am Rennweg

Staatsangehörigkeit: deutsch

Familienstand: verheiratet (1 Kind)

1989-1993 Grundschule Lauscha

1993-2001 Gymnasium Neuhaus am Rennweg

2001 Abitur

2001-2002 Wehrdienst

2002-2004 Studium der Chemie an der Friedrich-Schiller-Universität
Jena

2003-2009 Studium der Humanmedizin an der Friedrich-Schiller-
Universität Jena

Dez 2009 Studienabschluss (2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung)

Jan 2010-heute Facharztausbildung in der Klinik für Unfall-, Hand- und
Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums Jena

Ort, Datum

W. Weschenfelder

9.6 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, Wolfram Weschenfelder, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

Herr Prof. Dr. med. Thomas E. Mayer,

Herr Dr. med. Peter Schmidt,

Herr Dr. med. Andreas Ragoschke-Schumm,

Herr PD Dr. med. habil. Thomas Mückley,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Ort, Datum

W. Weschenfelder

9.7 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Thomas E. Mayer für die Überlassung des Themas sowie Herrn Dr. med. Peter Schmidt für die Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung der Arbeit.

Außerdem möchte ich Herrn Dr. med. Andreas Ragoschke-Schumm, der als zweiter Observer viel Zeit mit der Auswertung der Daten verbrachte, ausdrücklich danken.

Ohne die freiwillige Teilnahme der Probanden aus Kontroll- und Patientengruppe wäre diese Studie nicht möglich gewesen, weshalb ihnen mein spezieller Dank gilt. Das rege Interesse einiger Patienten an den Ergebnissen der Arbeit war eine stete Motivation die mitunter mühsame Datenakquirierung voranzutreiben.

Ebenfalls möchte ich mich bei den MTRAs des Institutes für Diagnostische und Interventionelle Radiologie für ihre Unterstützung bei den Untersuchungen danken. Die mir damals als Student stets entgegengebrachte Freundlichkeit und Offenheit, aber auch Geduld gegenüber meinen anfänglich nur begrenzten Kenntnissen der genutzten Technik haben mir das Arbeiten sehr erleichtert.

Abschließend gilt mein besonderer Dank meiner Familie, insbesondere meiner Frau für ihre schier endlose Geduld und Motivation, und meinen Freunden für ihre Unterstützung während meiner Promotion und des Medizinstudiums.